tijdschrift van het

nederlands elektronica- en radiogenootschap

deel 53 nr. 2 1988

nederlands elektronica- en radiogenootschap

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Postbus 39, 2260 AA Leidschendam. Gironummer 94746
t.n.v. Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

De vereniging stelt zich ten doel het wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de elektronica en de informatietransmissie en -verwerking te bevorderen en de verbreiding en toepassing van de verworven kennis te stimuleren.

LIDMAATSCHAP

Voor lidmaatschap wende men zich tot de secretaris
Het lidmaatschap staat open voor academisch gegradueerden en hen, wier kennis of ervaring naar het oordeel van het bestuur een vruchtbaar lidmaatschap mogelijk maakt. De contributie bedraagt fl. 60,- per jaar.

Studenten aan universiteiten en hogescholen komen bij gevorderde studie in aanmerking voor een junior-lidmaatschap, waarbij 50% reductie wordt verleend op de contributie. Op aanvraag kan deze reductie ook aan anderen worden verleend.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt zesmaal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en van de telecommunicatie.

Auteurs die publicatie van hun wetenschappelijk werk in het tijdschrift wensen, wordt verzocht in een vroeg stadium kontakt op te nemen met de voorzitter van de redactie commissie.

De teksten moeten, getypt op door de redactie verstrekte tekstbladen, geheel persklaar voor de offsetdruk worden ingezonden.

De abonnementsprijs van het tijdschrift bedraagt fl. 60,-. Aan leden wordt het tijdschrift kosteloos toegestuurd.

Tarieven en verdere inlichtingen over advertenties worden op aanvrage verstrekt door de voorzitter van de redactiecommissie.

OVERWEGING NAMENS HET BESTUUR VAN HET WETENSCHAPPELIJK RADIOFONDS VEDER BIJ DE UITREIKING VAN DE VEDERPRIJS 1986

uitgesproken door
Prof.dr.ir. J. Davidse
Technische Universiteit Delft

Het Bestuur van de Stichting Wetenschappelijk Radiofonds Veder heeft besloten de Vederprijs voor het jaar 1986 toe te kennen aan dr.ir. J. Biemond, werkzaam in de Faculteit Elektrotechniek van de TU Delft. Het Bestuur heeft mij verzocht bij gelegenheid van de uitreiking van deze prijs, die traditioneel plaats vindt in een werkvergadering van het NERG, dit besluit kort toe te lichten.

Het wetenschappelijk werk waarvoor aan de heer Biemond de prijs is toegekend heeft betrekking op de digitale bewerking van beeldinformatie. Beeldinformatie is een type informatie dat voor de mens van bijzonder groot belang is omdat mensen bijzonder goed geëquipeerd zijn voor het omgaan er mee en voor de interpretatie er van. Eén van de kenmerkende eigenschappen van beelden is dat hun primaire informatie-inhoud bijna altijd zeer groot is. Dit heeft gevolgen voor alle technische operaties op beeldinformatie; steeds krijgt men te maken met het probleem van het zeer grote totale informatiebestand waarop de operaties betrekking hebben. Veel van het wetenschappelijk werk van de heer Biemond op het gebied van de bewerking van beeldinformatie is van groot belang voor de overdracht en voor de weergave van beeldinformatie en daarmee voor het specifieke aandachtsveld van het wetenschappelijk radiofonds Veder.

Het met de Vederprijs bekroonde werk heeft betrekking op twee belangrijke onderwerpen op het terrein van de bewerking van beeldinformatie, nl. de beeldrestauratie en de beeldcodering. Restauratie van beelden houdt in het zo goed mogelijk terugwinnen van de oorspronkelijke informatie wanneer deze ergens in de bewerkingsketen verminkt is. De verminking kan van stochastische dan wel van deterministische aard zijn. Een voorbeeld van het laatste type verminking is bewegingsonscherpte of verlies van scherpte door defocusserende effecten, afbeeldingsfouten, enz. Omdat bij de bewerking van beeldinformatie de totale informatie-inhoud altijd zeer groot is, is het van groot belang dat restauratieve technieken efficiënt zijn. Biemond heeft baanbrekend werk verricht op dit terrein door methoden te ontwikkelen die de totale hoeveelheid



uit te voeren elementaire bewerkingsoperaties sterk reduceren. Hij heeft de door hem uitgedachte methoden en de daarmee verkregen resultaten vastgelegd in een proefschrift en in vele wetenschappelijke publicaties. Zijn werk op dit terrein heeft overduidelijk internationale erkenning gevonden en hij is een vooraanstaande expert op dit gebied.

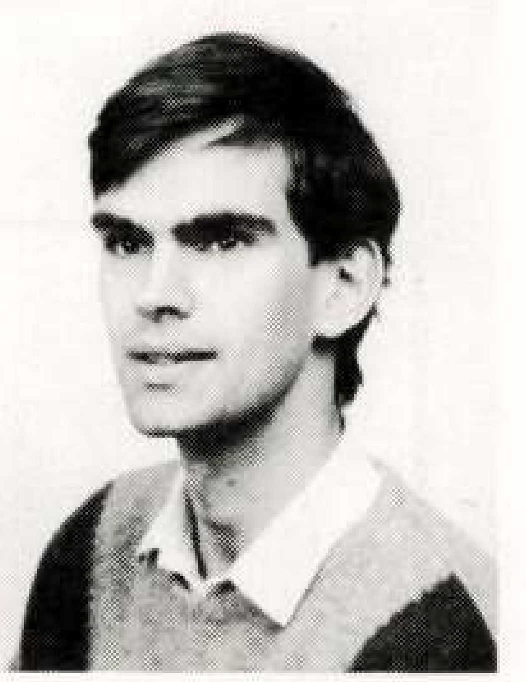


Het tweede terrein waarop Biemond belangrijk werk heeft verricht, heeft betrekking op het comprimeren van de informatie-inhoud van over te dragen beeldsignalen, teneinde overdracht mogelijk te maken via transmissiewegen die ontworpen zijn voor het transport van signalen met een aanzienlijk geringere informatie-inhoud. Het behoeft geen betoog dat deze compressie van groot belang is voor de inpassing van beeldoverdracht in allerlei netwerken voor de overdracht van uiteenlopende soorten informatie, zoals zgn. Integrated Digital Services Networks (ISDN's) en in het algemeen in alle communicatiesystemen die gebaat zijn bij minimalisering van de hoeveelheid over te dragen informatie. Het door Woods voorgestelde, maar door Biemond zeer creatief verder ontwikkelde principe van subband coding, is op dit terrein een zo belangrijke bijdrage geweest, dat ook hier van een doorbraak mag worden gesproken. Het onderzoek van Biemond heeft geleid tot een reële voorsprong van de Nederlandse wetenschap in het coderen van tweedimensionale beelden met een aanzienlijke (tot ca. 20-voudige) compressie bij behoud van een hoge kwaliteit. Ook dit werk geniet internationale erkenning en waardering.

Samenvattend stelt het Bestuur van de Stichting Wetenschappelijk Radiofonds Veder vast dat dr.ir. J. Biemond op verscheidene deelgebieden van het terrein van de digitale bewerking van beeldinfromatie baanbrekend onderzoek heeft verricht, dat geleid heeft tot belangrijke en aantoonbare vooruitgang in de overdracht en de weergave van beeldinformatie. Het onderzoek heeft wezenlijk bijgedragen tot de vooruitgang in de communicatietechniek, het centrale aandachtsgebied van de stichting. De op grond hiervan toegekende Vederprijs zal thans worden uitgereikt door de voorzitter van de Stichting, Mevrouw E. Kosters.

Professor Bählerprijs 1987 toegekend aan
Ir. R. van der Wal

Aan het slot van een lezingendag van de Afdeling voor Telecommunicatie te Delft op woensdag 16 maart 1988 is de Professor Bählerprijs 1987 uitgereikt. Deze prijs wordt jaarlijks door de Afdeling toegekend aan een student, afgestudeerd in het vakgebied van de telecommunicatie aan een van de Nederlandse technische universiteiten. Voor het verstreken studiejaar is de prijs toegekend aan Ir. R.v.d.Wal, afgestudeerd aan de Universiteit Twente.
Ir. W. Bähler, zoon van de legendarische Delftse hoogleraar voor telecommunicatietechniek naar wie de prijs is vernoemd, verrichtte de uitreiking en sprak de considerans uit. Na afloop daarvan hield de prijswinnaar een korte voordracht over het door hem verrichte werk.
Het afstudeeronderwerp van Ir. Van der Wal kreeg als titel "Design and realization of an 8 Mbit/s plastic optical transmission system". Zijn werk paste in het kader van ESPRIT project 43; dit project heeft tot doel een voorstel te formuleren voor een standaard eindapparatuur aansluiting, het zgn. E-interface, voor local area networks. Binnen dit project heeft hij een onderzoek naar de haalbaarheid van plastic fibers voor optische transmissie uitgevoerd, resulterend in ontwerp en bouw van een 8 Mbit/s transmissiesysteem voor locale afstanden. Bovendien werd door hem een voorstel ontworpen voor een architecturele specificatie voor het E-interface.
De heer Van der Wal heeft hiermede een belangrijke, actuele en toekomstgerichte bijdrage geleverd in een internationale werkgroep. Zijn aanpak is systematisch en terzake. Hij weet de wetenschappelijke grondslagen van het vakgebied uitstekend en doeltreffend toe te passen bij het daadwerkelijk ontwerpen, bouwen en beproeven van een systeem. Bovendien is gebleken dat hij in de internationale werkgroep anderen door zijn helder technisch inzicht weet te overtuigen en te stimuleren.



De conclusie van de beoordelingscommissie is dan ook dat hier zeer goed ingenieurswerk is verricht, dat verdient met de Professor Bählerprijs te worden beloond.
Niet onvermeld mag blijven dat de beoordelingscommissie ook grote waardering heeft voor de drie andere voor bekroning voorgedragen afstudeerwerken, te weten:

Ir. J.P.M.G. Linnartz:	Spatial distribution of traffic in a cellular mobile data network (TU Eindhoven)
Ir. P.P.G. Mols:	Modelling of the dynamic behavior of the double cannel planar buried hetero structure semiconductor laser (TU Eindhoven)
Ir. N. den Besten:	Het automatisch genereren van protocol implementaties in C (TU Delft).

De prijsuitreiking vond plaats tijdens een lezingendag met een aantal voordrachten gewijd aan de "Telecommunicatie gezien vanuit de infrastructuur en de consumentensector". De dag werd besloten met een druk bezochte borrel.



Hoofdbestuur Nederlandsche Vereeniging voor Radiotelegrafie 1926. 1. A. Veder, Rotterdam, voorzitter. 2. A. J. J. M. Niemer, Amsterdam. 3. Jhr. Mr. J. C. Schorer, Culemborg, vice-voorzitter. 4. Dr. W. H. Koomans, Bloemendaal. 5. Ir. A. H. de Voogt, 's Gravenhage. 6. B. Slikkerveer, 's Gravenhage, secretaris-penningmeester. 7. Mr. A. F. Poggenbeek, Rotterdam. 8. Mr. J. Stam, Tiel.

Anthony Veder

1879 - 1928

Op 23 februari 1988 vond in een NERG vergadering de uitreiking van de Vederprijs 1986 plaats. In 1927 richtte Anthony Veder de "Stichting Wetenschappelijk Radiofonds Veder" op, die o.m. jaarlijks de Vederprijs beschikbaar stelt. Dit jaar werd deze uitgereikt door zijn kleindochter, de huidige voorzitter van de Stichting, Mevrouw E.J.Kosters van Hoboken.

Om de leden van het NERG iets meer idee te geven wat Veder tot het instellen van deze prijs bewoog, welke zijn belangstelling was, en in welke tijd hij dit initiatief nam, heeft de redactie gezocht naar geschriften waaraan hij meewerkte.

In 1926 bestond de Nederlandsche Vereeniging Voor Radiotelegrafie tien jaar. Veder bood bij die gelegenheid de vereeniging een gedenkboek aan. U vindt hierna de aanbiedingsbrief en het eerste artikel herdrukt.

Mijne Heeren,

Ter gelegenheid van het 10-jarig bestaan der Nederlandsche Vereeniging voor Radiotelegrafie heb ik mij in mijne kwaliteit van Voorzitter dier Vereeniging afgevraagd, wat ik persoonlijk den leden zou kunnen aanbieden, om bij hen de herinnering aan dit Lustrum levendig te houden.

Toen mij nu gebleken was, dat van verschillende zijden de wensch werd uitgesproken, ter herdenking van dit feest een boekwerk uit te geven, meende ik niet beter te kunnen doen dan dezen wensch in vervulling te brengen. En zoo is het mij dan een bijzonder genoegen, den leden hierbij een Gedenkboek te kunnen aanbieden. Ik verzoek hun allen, dit werk te willen aanvaarden als bewijs van mijne groote erkentelijkheid voor alles, wat de leden in de afgeloopen jaren voor den bloei onzer Vereeniging gedaan hebben, en tevens als een blijk van mijne persoonlijke belangstelling in de ontwikkeling der Radiotelegrafie en -telefonie, waartoe, naar ik mij vlei, ook onze Vereeniging naar de mate harer krachten heeft bijgedragen.

Zooals den belangstellenden lezer blijken moge, heb ik getracht, in dit boek bijeen te brengen een aantal artikelen betreffende de ontwikkeling van de Radiotelegrafie en -telefonie in Nederland zoowel als in het buitenland. Ik heb daarvoor de medewerking verkregen van verschillende bij uitstek deskundigen op Radiogebied, waarbij uit den aard der zaak zooveel mogelijk ook aan de amateurs gelegenheid is gegeven een bijdrage te leveren.

Wanneer ik dan nu een blik sla op het resultaat van dezen arbeid, dan wensch ik in de allereerste plaats uiting te geven aan mijne erkentelijkheid jegens Zijne Excellentie Ir. M. C. E. Bongaerts, Minister van Waterstaat, van wiens hand ik eene bijdrage voor dit boek mocht ontvangen, waardoor Zijne Excellentie blijk heeft gegeven van een belangstelling in het streven onzer Vereeniging, die door ons in hooge mate op prijs wordt gesteld. In de tweede plaats gevoel ik mij gedrongen, mijne groote dankbaarheid te betuigen aan H.H. Excs. de Gezanten, alsmede aan de Hoogedelgestrenge H.H. Consuls-Generaal en Consuls van de verschillende landen, wier groote bereidwilligheid mij in staat gesteld heeft, de medewerking te verkrijgen van tal van deskundigen in het buitenland. Aan deze dankbetuiging verbind ik terstond het uitspreken van mijn groote erkentelijkheid jegens allen, die als auteurs van de verschillende artikelen belangeloos hunne gewaardeerde medewerking hebben verleend, waardoor dit boek naar mijne overtuiging een meer dan gewone beteekenis heeft verkregen.

Op gelijke erkentelijkheid heeft recht de Heer J. Corver, die zich op mijn verzoek belast heeft met de samenstelling van dit boek en aan wiens voortvarendheid het niet in de laatste plaats te danken is, dat vele beroemde namen als auteur op deze bladzijden prijken. In één adem wensch ik hierbij te noemen den Heer N. Veenstra, die als uitgever zijn toegewijde zorg aan de uitgave van het boek besteed heeft, waarbij dankbaar geprofiteerd werd van zijn kunde en langjarige ervaring, die hem terecht een eereplaats onder de uitgevers hebben bezorgd. Ik betuig hem op deze plaats mijn dankbaarheid voor de boven allen lof verheven wijze, waarop hij aan deze artikelen lijn en vorm heeft weten te geven, waarbij het uiterlijk gewaad zich op waardige wijze aanpast.

Het zij mij tenslotte vergund te eindigen met den wensch uit te spreken, dat dit boek de belangstelling moge vinden, waarop de samenstellers recht hebben. Moge het den leden een blijvende herinnering zijn aan het 10-jarig bestaan hunner Vereeniging en daartoe een plaatsje vinden in hunne bibliotheek op het gebied van Radiotelegrafie en -telefonie! Geve het den belangstellenden niet-leden onzer Vereeniging een goeden indruk van den bloeienden toestand der Nederlandsche Vereeniging voor Radiotelegrafie! Dat deze bloei zich ook in de komende jaren moge bestendigen, is de oprechte wensch van

A. VEDER,
Voorzitter der N.V.V.R.

Rotterdam, Maart 1926.

HET RADIO-AMATEURISME IN NEDERLAND EN DE N. V. V. R.

In Nederland dateert het gebruik van draadlooze telegrafie uit 't jaar 1902, toen een verbinding werd tot stand gebracht tusschen Hoek v. Holland en het lichtschip „Maas". De eerste gebeurtenis, die hier in breedere kringen belangstelling wekte voor de draadlooze, was evenwel de Marconi-dienst voor het „Handelsblad" in 1903. Uit dat jaar stammen ook eigenlijk de eerste Nederlandsche amateurs.

Het moest intusschen nog tien jaren duren, voordat hier te lande iets ontstond van een amateur-*beweging*. Die is ontstaan in het jaar 1913.

Aan den eenen kant was het zuiver technische belangstelling, die hier als drijfkracht optrad en o.a. in den Haag al dadelijk een clubje deed ontstaan, aan den anderen kant was het de belangstelling voor de weerberichten, die de Eiffeltoren sedert 1911 uitzond en die in 1913 een groote uitbreiding ondergingen, welke bijv. Dr. van Gulik te Wageningen deed optreden als strijder voor het officieel toelaten van gebruik van ontvangtoestellen door particulieren.

Onder den invloed van het Haagsche clubje spande de Ned. Ver. voor Weer- en Sterrenkunde zich voor deze zaak en belegde een vergadering, waar de heer Lugard als vertegenwoordiger van den A. N. W. B. tegenwoordig was, mèt Dr. van Gulik, de heeren Corver, de Voogt en anderen en waar een motie werd aangenomen voor de vrijlating van ontvangst.

Hieraan was reeds voorafgegaan een stap van den heer Corver persoonlijk bij den toenmaligen minister van Waterstaat, den heer Lely, om dezen op het ongewenschte en onhoudbare van een ontvangverbod opmerkzaam te maken, een stap, die in goede aarde viel en die — gesteund door de uitspraak der door Weer- en Sterrenkunde belegde vergadering — in begin 1914 tot de uitvoering van een gratis-vergunningsstelsel leidde.

In enkele maanden steeg het aantal aangevraagde vergunningen tot boven 400. Na korten tijd werd echter de verleening stopgezet omdat de Minister van Waterstaat tot het inzicht was gekomen, dat 't meer practisch en administratief minder omslachtig zou zijn, de ontvangst eenvoudig vrij te laten en dit bij Kon. Besluit vast te leggen. Dit geschiedde bij Kon. Besluit van 11 Juli 1914, waardoor geen vergunning meer noodig was.

Het genoegen, dat men daarvan beleefde, duurde niet lang, want eind Augustus brak de groote wereldoorlog uit en 5 Sept. 1914 werd bij Bekendmaking van den Minister van Oorlog het gebruik van particuliere draadlooze ontvanginrichtingen verboden.

Over de wenschelijkheid en mogelijkheid om een radio-vereeniging op te richten, was tot op dit oogenblik wel al herhaaldelijk gesproken, maar de amateurs waren te veel verspreid over het land, zonder van elkaars bestaan veel af te weten.

Daarin kwam eenige verandering toen begin 1915 de heer Corver in een uitgebreide correspondentie werd gewikkeld naar aanleiding van de verschijning van zijn eerste boekje over de constructie van draadlooze toestellen. De verschijning was door den oorlog vertraagd, maar aangezien de belangstelling der liefhebbers door het verbod van practisch werken toch geenszins verflauwd bleek, en aangezien men toen algemeen nog een spoedig einde van den oorlog verwachtte, werd in 1915 de uitgave doorgezet. Met als gevolg de correspondentie met amateurs in alle deelen van het land.

Het bestaan van het luisterverbod deed de wenschelijkheid van aaneensluiting en gemeenschappelijke actie des te meer uitkomen, doch deed tevens gevoelen, dat de medewerking van gezaghebbende personen moest worden verkregen, wilde men het eerste doel: de opheffing van het luisterverbod, bereiken.

* * *

In het voorjaar van 1916 werd dan ook ten huize van den heer A. Veder, den huidigen Voorzitter der N. V. V. R., een vóórvergadering belegd, waar behalve de heer Veder aanwezig waren de heeren J. Corver, A. H. de Voogt, O. P. Koch en F. A. Koch. Op deze vergadering werd de mogelijkheid onder oogen gezien, te komen tot een Nederlandsche Vereeniging voor Radiotelegrafie.



Hoofdbestuur der N. V. V. R. in 1918.
Van links naar rechts de heeren: L. A. Bakhuis (Penningmeester), J. Corver (Secretaris), Dr. Ir. N. Koomans, Mr. J. F. van Royen, F. A. Koch, A. Veder (Voorzitter) en J. H. Hummel.

Na nog eenige verdere besprekingen werd dan ook op 19 Maart 1916 overgegaan tot de oprichting dier Vereeniging, waarbij verschillende vooraanstaande persoonlijkheden hunne medewerking verleenden. Wij noemen in dit verband mannen als Prof. C. L. v. d. Bilt, Dr. N. Koomans, Dr. D. van Gulik, Dr. G. van Dijk (van het Met. Inst. te de Bilt), Dr. A. H. Borgesius, en als de heeren H. J. Nierstrasz, L. A. Bakhuis, A. Spanjaard (A. N. W. B.), Prof. A. J. Mulder.

Het voorzitterschap werd aanvaard door den heer A. Veder te Rotterdam, het secretariaat door den heer J. Corver te den Haag.

In de circulaire, die uitging om tot toetreding als lid uit te noodigen, werd o.a. geschreven:

„Het bestuur meent alle reden te hebben voor de verwachting, dat deze vereeniging op veler belangstelling mag rekenen. Waar bij den opzet volledige samenwerking werd verkregen tusschen hen, die uit wetenschappelijk en technisch oogpunt bij de radiotelegrafie zijn betrokken, en hen, die uit persoonlijken lust of voor studie en ontspanning haar beoefenen, ligt voor de vereeniging een zeer uitgebreid en in alle opzichten nuttig arbeidsveld open.

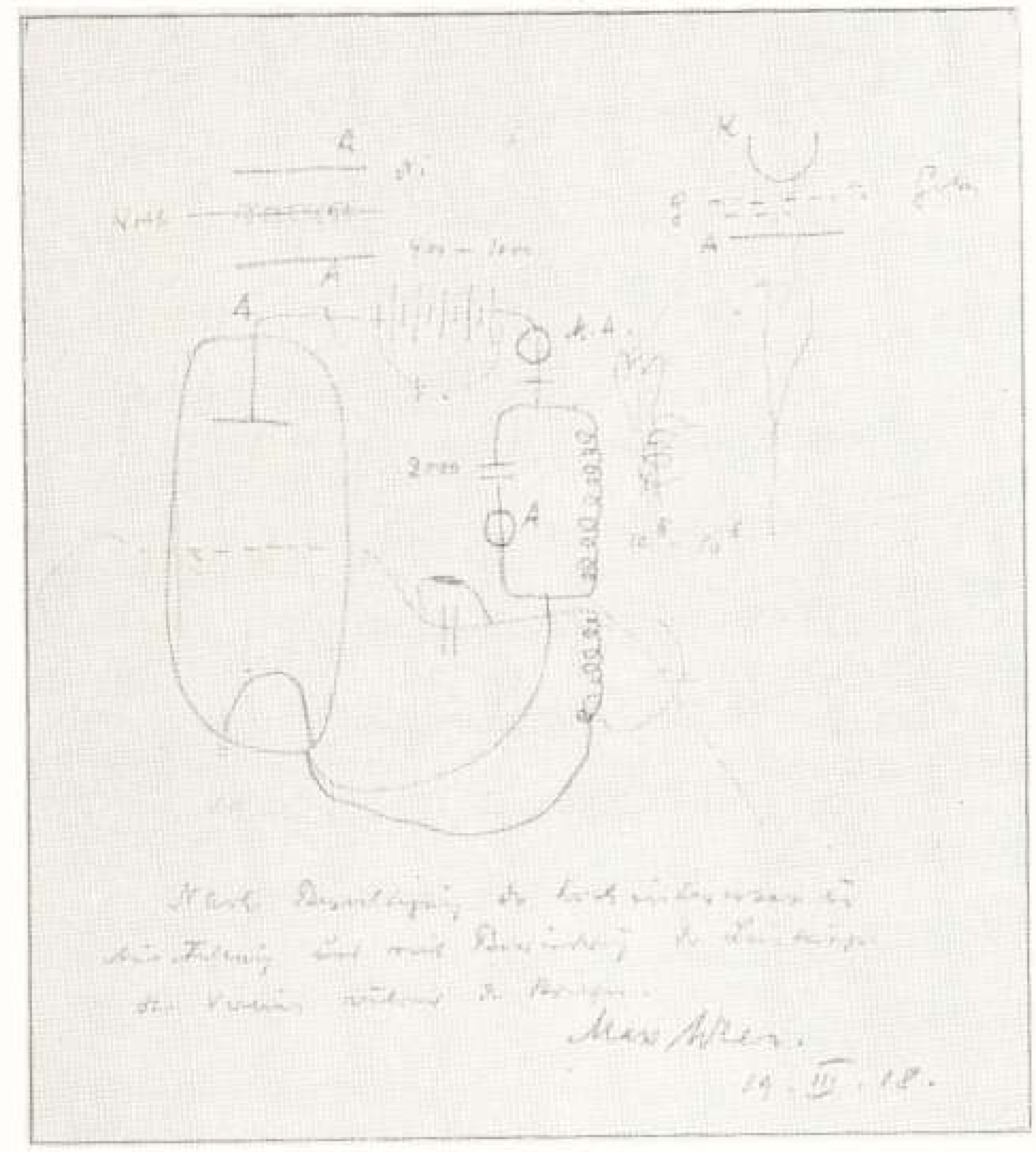
„In de eerste plaats wenscht de vereeniging zooveel mogelijk *alle* krachten, waarover ons land in dit opzicht beschikt, samen te brengen, onderlinge gedachtenwisseling te bevorderen, aanmoedi-

ging en leiding te verleenen bij onderzoekingen en proefnemingen, den weg te wijzen aan nieuw toetredende belangstellenden om hun kennis van de zaak te vermeerderen.

„Het lidmaatschap staat dan ook voor alle belangstellenden open.

„Daarbij omvat het doel, zooals uit de statuten blijkt, een werkzaamheid in zoodanige richting, dat meer en meer de bijzondere geschiktheid der radiotelegrafie om als verkeersmiddel te worden gebruikt in gevallen, waar geen ander verkeersmiddel zoo uitgebreide mogelijkheden opent, in de practijk naar voren wordt gebracht."

Uit een en ander valt af te leiden, waar eenerzijds het oogenblik voor oprichting eener vereeniging gunstig was omdat *de amateurs* in den strijd tegen het luisterverbod een reden vonden, die noopte tot aaneensluiting, dat aan den anderen kant de oprichters der N. V. V. R. zich niet tot het engere doel eener uitsluitende



Teekening, door prof. Max Wien gemaakt bij een bespreking over genereeren van lampen tijdens de tentoonstelling der N. V. V. R. in 1918.

amateursvereeniging bepaalden, maar de belangen van het amateurisme plaatsten in het grootere kader der belangen, betrokken bij de ontwikkeling der radio-techniek als geheel.

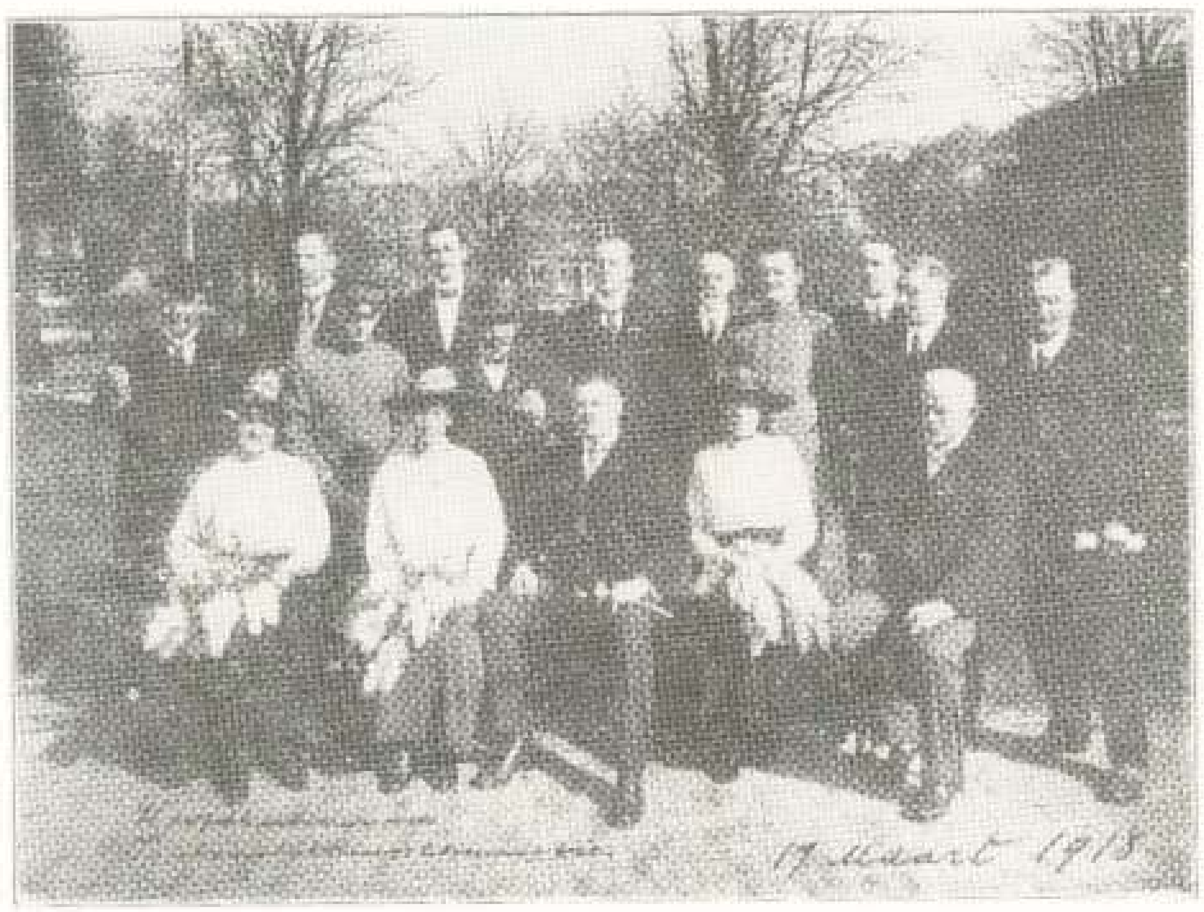
Bij de ontwikkeling dier techniek, bij de verbreiding van het gebruik van radioverkeer, juist op gebieden, waarvoor deze soort verkeer bij uitstek geschikt is, speelt het bestaan van een goed onderlegd en in serieuse richting geleid radio-amateurisme een groote rol. Het experimenteele werk op dit gebied, is voor een groot deel amateurswerk in den besten zin van het woord. Voor elk land is het bestaan van een groot aantal in de bediening van toestellen getrainde personen van het meeste belang. Voor het doen doordringen van het gebruik van tijdseinen en weerberichten zijn amateurs als gangmakers noodig. Het geheele omroepinstituut, dat in zijn hoogsten vorm een volksuniversitair karakter draagt en een nieuw cultureel verkeersmiddel van den allereersten rang gaat worden, is ondenkbaar zonder de populariseering van technische kennis, die door het amateurisme wordt bewerkstelligd.

Nu, in 1926, behoeft het wel voor niemand meer eenig betoog, dat in al deze opzichten het amateurisme pionierswerk heeft te verrichten. In 1916 getuigde het van breeden blik bij onze voormannen van techniek en wetenschap, dat zij dadelijk daadwerkelijke blijken van sympathie en medewerking verleenden om samenwerking in één vereeniging met amateurs tot stand te brengen.

Als men de N. V. V. R. de Nederlandsche amateursvereeniging noemt, dan is dit historisch en feitelijk alléén juist, wanneer men onder amateurs verstaat al degenen, die, — vakmenschen of gewoon belangstellenden, geleerden of minder geleerden — uit een bepaalde roeping zich wijden aan studie en practijk der draadlooze.

Dat neemt niet weg, dat de N. V. V. R. zich steeds ook den eenvoudigen beginner en knutselaar heeft aangetrokken en dat dezen er grootelijks van hebben kunnen profiteeren, dat in de N. V. V. R. menschen met hoogere kennis en oudere practische ervaring mede deelnamen in het vereenigingsleven. Ofschoon behoorende tot de oudste, een geheel land omvattende radiovereenigingen in Europa, is de N. V. V. R. niet *de* oudste. De Société française d'Etude de T. S. F. bestond reeds in 1914.

Anderhalf jaar na de oprichting der N. V. V. R., den 12 September 1917, ofschoon de oorlogstoestand nog voortduurde, werd opheffing van het luisterverbod, waarvoor direct door het bestuur stappen waren gedaan, verkregen. Voor een groot deel was dat succes te danken aan het breedere kader, waarin de vereeniging



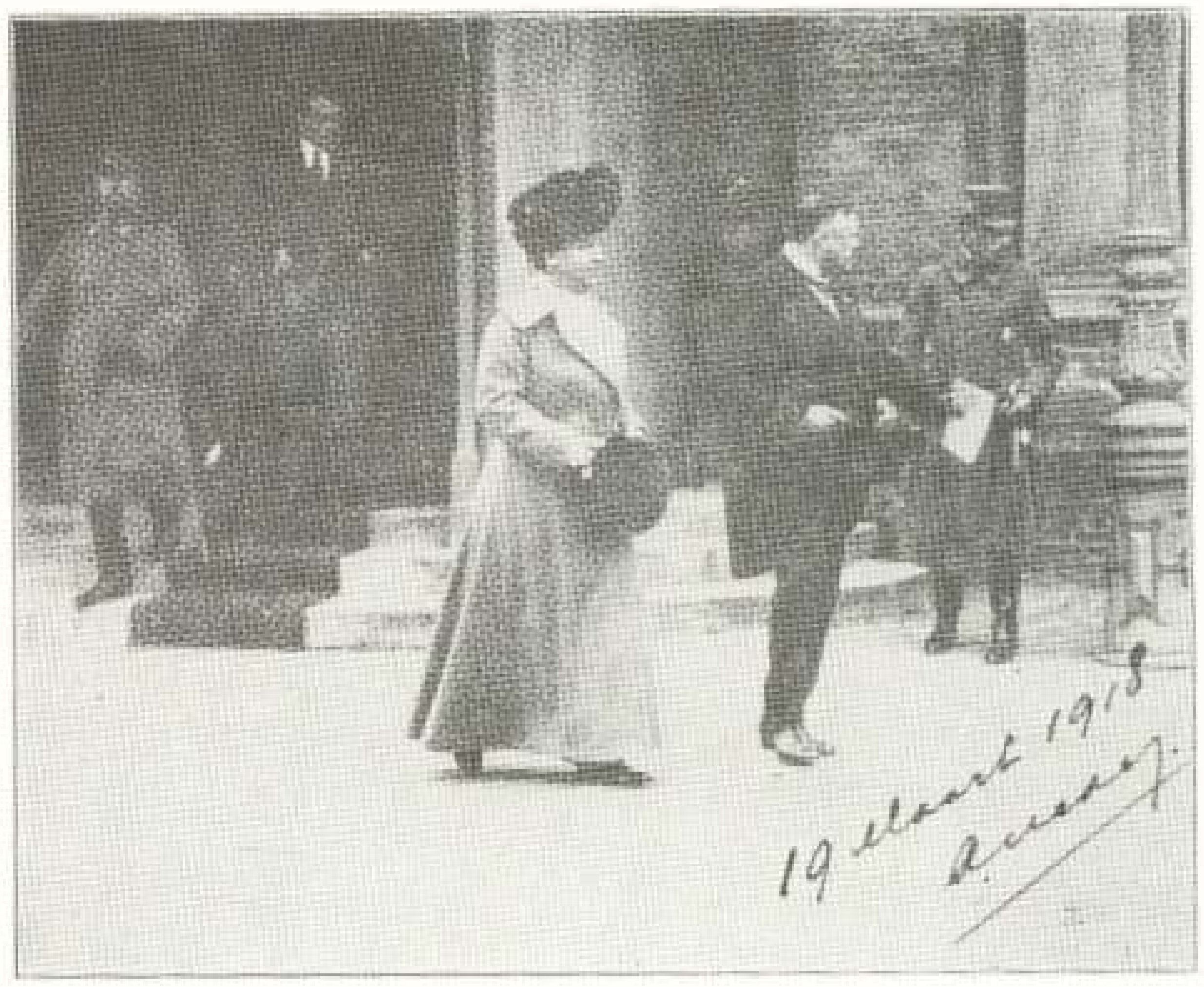
Hoofdbestuur N. V. V. R. en Tentoonstellings-Commissie 1918.

Staande van links naar rechts de heeren: J. H. Hummel, Jhr. Mr. J. C. Schorer, Ir. A. H. de Voogt, P. H. W. Zalme, H. J. Nierstrasz, Ir. E. F. W. Völter, F. A. Koch, P. C. Tolk, Dr. Ir. N. Koomans, J. Corver en T. E. W. v. Dompseler. Zittende van links naar rechts: Mevr. Zalme, Mevr. M. J. Veder van Hoboken, de heer A. Veder, mej. J. v. d. Eynde en de heer L. A. Bakhuis.

de amateursbelangen had geplaatst, het hoogere plan, waarop de strijd voor die belangen werd gevoerd.

Intusschen waren tot stand gebracht een voorloopig maandelijksch orgaan (een deel van het tijdschrift voor Telegrafie en Telefonie), een vrij omvangrijke bibliotheek, het begin van een instrumentarium, dat ook apparaten uitleent aan leden, terwijl verschillende commissiën werkzaam waren die ten aanzien van buitenlandsche wetenschappelijke relaties, onderwijs op radio-gebied enz. de vereeniging vertegenwoordigden. Voor bepaalde gevallen, als voor het geven van technisch advies aan belanghebbenden bij een radioverbinding met Amerika, werden tijdelijke commissies ingesteld.

Een buitengewoon belangrijk jaar voor de N. V. V. R. werd het jaar 1918. Met den aanvang daarvan werd begonnen de uitgave van het geheel zelfstandige maandblad „Radio-Nieuws", onder redactie van den heer Corver, die tevens 1e secretaris bleef. Van 17—21 Maart werd de grootsch opgezette, eerste Nederlandsche radio-tentoonstelling in de Dierentuinzalen te 's Gravenhage door de Vereeniging ondernomen. Al waren er toen al een tiental firma's op radio-gebied, die alle aan deze tentoonstelling deelnamen, terwijl ook van tien verschillende rijksinstellingen prachtige inzendingen waren verkregen, toch was deze tentoonstelling in hoofdzaak een typische amateur-expositie. De belangstelling was enorm. Een aantal bezoekers, gedurende 5 dagen, van *gemiddeld* 1500 per dag toont dit voldoende. Behalve H.M. de Koningin, Z.K.H. de Prins-Gemaal en H.M. de Koningin Moeder, bezochten verscheidene ministers en autoriteiten de tentoonstelling.



Bezoek van H. M. de Koningin en Z. K. H. den Prins-Gemaal aan de Radiotentoonstelling in 1918.

Een krachtige stoot werd hierdoor gegeven aan den opbloei van het amateurisme en van dit moment dagteekent ook de betrekkelijk snelle uitbreiding van den handel in radio-toestellen en onderdeelen. De N. V. V. R., die tijdens de tentoonstelling ruim 500 leden telde, zag haar ledental in een jaar tijds verdubbelen.

In de eerste jaren van haar bestaan had de vereeniging ook reeds het initiatief genomen tot het organiseeren van de verspreide amateurs in Ned.-Indië, waartoe verschillende naar Indië vertrekkende leden achtereenvolgens medewerking beloofden. Van den aanvang af stond bij het hoofdbestuur voorop, dat Indië noodzakelijk een eigen vereeniging moest vormen, maar dan liefst natuurlijk in een verhouding van samenwerking. In 1918 werd een eerste verzoekschrift tot den G.G. gericht om opheffing van het luisterverbod in Indië, waarop een gunstig advies van het dept. van Koloniën werd verkregen. Later werden nog herhaalde stappen gedaan. Maar ofschoon inmiddels een Ned. Indische Vereeniging tot stand kwam, is in 1926 de amateur in Indië nog niet officieel erkend.

Door een prijsvraag voor een golfmeter, het verleenen van steun aan de uitgave van een handleiding voor hen, die studeeren voor het radiotelegrafist-examen, door besprekingen met scheepvaartmaatschappijen en met Radio Holland over de regeling der positie van scheepstelegrafisten, door correspondentie met zeevaartscholen over radio-onderwijs aan die inrichtingen en uitgave van een sounderhandleiding, heeft de N. V. V. R. in die eerste jaren zich nuttig gemaakt. Uit den aard der zaak heeft zij zich, zoodra de scheepstelegrafisten een vakvereeniging vormden, teruggetrokken van bemoeiing met engere vakbelangen.

* * *

Een voorbeeld van snelle organisatie was in 1919 de tot stand brenging van het Vrijwillig Radiotelegrafisten corps, waarvan de leden zich bereid verklaarden, dienst te verrichten in diverse radiostations, waarvoor geen voldoend bedieningspersoneel beschikbaar was. — In 14 dagen tijds werden 132 leden hiervoor ingeschreven, waarvan 65, die volledig konden seinen en opnemen. De gelegenheid tot geregelde oefening, ook in het bedienen van zenders, was aanvankelijk toegezegd en was voor de deelnemers — waar seinvergunningen nog niet waren verkregen, — een aantrekkelijkheid.

Waar over de mogelijkheid om in Nederland ook seinvergunning voor amateurs te verkrijgen reeds voortdurend polsing van gezaghebbende personen had plaatsgehad, werd in Juni 1920 een officieele stap hiertoe gedaan in den vorm van een adres aan den Minister van Waterstaat. Den 23sten Nov. 1920 werd hierop ten antwoord ontvangen, dat het verzoek „niet voor inwilliging vatbaar" was. Op het verzoek van het hoofdbestuur der N. V. V. R. om de zaak ook mondeling eens te mogen voordragen, werd niet gereageerd.

Dat intusschen het vraagstuk van zendvergunningen werd warm gehouden in besprekingen met ieder, die daarop misschien ooit invloed zou kunnen oefenen, behoeft wel niet te worden gezegd. En zoo kwam in Maart 1923 bij de behandeling der Postbegrooting in de 2e Kamer deze zaak in de Kamerstukken ter sprake en verkreeg later de heer Dresselhuys een toezegging van den Minister van Waterstaat, dat hij door het Hoofdbestuur van P. en T. een conferentie over dit vraagstuk zou laten beleggen en daarna zou beslissen.

Na vele maanden kwam inderdaad een conferentie tot stand, waartoe het bestuur der N. V. V. R. werd uitgenoodigd, maar die conferentie bleek te betreffen het Omroepvraagstuk. Een nieuw adres van de vereeniging was inmiddels ingediend en aan het volhouden der vertegenwoordigers van de N. V. V. R. aan de toezegging eener conferentie over *zendvergunningen* was het te danken, dat eindelijk een serieuse gedachtenwisseling daarover met de Permanente Interdepartementale Commissie voor de Radiotelegrafie werd verkregen met het gelukkige resultaat, dat een regeling tot stand kwam, waarbij althans afdeelingen van Kon. goedgekeurde vereenigingen een beperkte zendvergunning op korte golven kunnen deelachtig worden.

Van het feit, dat hiermee niet is verkregen, wat voor Nederland in dit opzicht wordt gewenscht, is het hoofdbestuur der N. V. V. R. meer dan iemand anders overtuigd. Het is echter goed, dat men inzie, dat op dit gebied de resultaten nu niet zoo heel gemakkelijk te bereiken zijn. In zeer bepaalde gevallen kunnen persoonlijke vergunningen voor proefnemingen ook onder de bestaande regelingen in ons land verkregen worden.

* * *

Ter loops werd hierboven de conferentie over het Omroepvraagstuk aangeroerd.

Vóór dat wij evenwel ook over de bemoeiingen van de vereeniging dáármede iets zeggen, is het goed, eerst de ontwikkelingsgeschiedenis der vereeniging nog even te vervolgen.

Een gevolg van den voortdurenden groei was, dat de heer Corver in Juni 1919 de combinatie van het secretariaat met het redacteurschap niet langer kon voortzetten, zoodat die twee werden gescheiden. „Radio-Nieuws" nam geregeld in omvang toe en de stof eischte bovendien steeds meer tijd van bewerking. Daarbij vroeg het houden en organiseeren van voordrachten in de wintermaanden veel tijd. Voor het gaande houden der zaken van het secretariaat werd eerst een tijd lang een tijdelijke regeling getroffen, totdat door het optreden van den heer B. Slikkerveer, eerst als secretaris, daarna als secretaris-penningmeester, weer een administratie werd geschapen, die den geweldig toegenomen arbeid kon verwerken.

Reeds direct na de oprichting van de N. V. V. R. was in grootere plaatsen de vorming van plaatselijke afdeelingen door leden der vereeniging aangevangen. Na den Haag, Rotterdam, Amsterdam, Utrecht, volgden vele andere, die nu eens slechts een tijdelijk bestaan vertoonden, elders een levendig onderling verkeer tusschen de radioliefhebbers tot stand brachten.

Voorbeelden van hetgeen de afdeelingen voor het vereenigingsleven kunnen beteekenen, vindt men in de stichting van het Clublokaal te Rotterdam, dat een echt radio-centrum is geworden; in de zeer nuttige actie van het ijverige bestuur der afdeeling Haarlem inzake tramstoringen; in de wijze waarop te Amsterdam, den Haag, Utrecht, Groningen, Wormerveer en elders de afdeelingsvergaderingen dienstig worden gemaakt aan gedachtenwisseling en voorlichting; in de organisatie van meer of minder plaatselijke tentoon-

stellingen door de afdeelingen, waarvan de, begin Juni 1925 door de afd. den Haag georganiseerde Eerste Ned. Radio Salon in het Kurhaus te Scheveningen wel een bijzonder grootsche en geslaagde demonstratie was.

* * *

Toen in November 1922 de sedert drie jaar door de Ned. Radio-Industrie te den Haag gegeven wordende wekelijksche radioconcerten wegens de financieele lasten daarvan dreigden te worden stop gezet, besloot het hoofdbestuur der N. V. V. R., in afwachting van hetgeen de ontwikkeling van den Omroep in Nederland verder zou brengen, gedurende één avond per week voorloopig een Vereenigingsomroep te organiseeren, waarvoor vrijwillige bijdragen werden gevraagd en verkregen en voor welker verzorging een speciale commissie werd benoemd.

Gedurende 1923 en de helft van 1924 heeft dientengevolge de commissie gezorgd voor de op Donderdagavonden door P C G G uit te zenden programma's en niet het minst de secretaris dier commissie, de heer S. Wijnbergen, en de „Omroeper", de heer H. Veenstra, hebben daarbij de luisteraars aan zich verplicht. Door de bemoeiingen van den heer Wijnbergen konden geregeld eersterangs-kunstenaars en kunstenaressen tot medewerking aan het muzikale gedeelte worden bewogen. Dat op den duur de radiotechnische praestaties van den zender werden overvleugeld door die van andere binnen- en buitenlandsche zenders was waarlijk niet de schuld der vereenigings-commissie. Anderhalf jaar lang is met de gelden van het bijeengebrachte fonds gewoekerd. Waar de programma-organisatie intusschen in hooge mate aan den Haag als plaats van uitzending was gebonden (men vindt nu eenmaal niet in elke willekeurige plaats weer gelijke medewerking) en waar een meer of minder definitieve stopzetting van P C G G tòch dreigde, terwijl bovendien de vrees, dat de Nederlandsche muziekluisteraars van luisterstof verstoken zouden raken, wel geheel was weggenomen door hetgeen behalve de N S F ook het buitenland was gaan praesteeren, werden blijvende maatregelen om het Omroepfonds geregeld aan te vullen, maar niet genomen.

In afwachting van hetgeen de gehoopte organisatie van een grooten Nationalen Omroep zal brengen, is de werkzaamheid der Omroepcommissie uit de vereeniging geeindigd.

* * *

Wat betreft de Nederlandsche Omroep-organisatie heeft het hoofdbestuur der N. V. V. R. zich op het standpunt geplaatst, dat dit een aangelegenheid was, waarin de N. V. V. R. een aanspraak op medezeggenschap moest doen gelden.

Bij hetgeen wij in den aanvang van dit geschrift hebben gezegd over het doel, waarmee de vereeniging werd opgericht, hebben wij ook reeds aangeduid, hoe zij dientengevolge staat tegenover den Omroep als cultureel verkeersmiddel. En niet alleen daarom, maar ook als lichaam, waarin de luisteraars een over het geheele land vertakte organisatie vinden, ziet de N. V. V. R. den Omroep in Nederland als een zaak, die haar mede aangaat.

Na de oprichting der vereeniging Radio Omroep Mij. en nadat in haar bestuur de N. S. F., Philips, Western Electric, S. F. R. en Telefunken waren opgetreden, kwam het tot een zakelijke bespreking van de mogelijkheid van samenwerking met de N. V. V. R. in de richting van een Omroep, te bekostigen uit een licentieheffing, door alle luisteraars aan de telegraafkantoren te betalen en waarbij aan de N. V. V. R. een evenredige invloed op de geheele Omroeporganisatie zou worden ingeruimd. Het hoofdbestuur der N. V. V. R. had voor een werken in die richting noodig het kennen der meening van de leden en bovendien een machtiging van de ledenvergadering. Deze werd door de gewone jaarlijksche ledenvergadering in 1924 verleend. De heer A. Veder, als voorzitter der N. V. V. R. heeft daarna deel uitgemaakt van de commissie, onder voorzitterschap van den oud-minister Dr. F. Posthuma, die over de regeling van den Omroep in 1925 een advies uitbracht aan de Regeering. Hierna is gevolgd in het najaar van 1925 de benoeming eener Staatscommissie voor het Omroep-vraagstuk onder voorzitterschap van den oud-ministerpresident Jhr. Mr. Ruys de Beerenbrouck, in welke Staatscommissie eveneens de heer A. Veder als lid zitting heeft.

In afwachting van een financieel behoorlijk gefundeerden Nationalen Omroep is het de N. S. F. zender te Hilversum, waarmede een Nederlandsche Omroep op de been wordt gehouden.

* * *

De enorme toeneming van het aantal muziekluisteraars was in 1923 één der oorzaken, waardoor dat jaar ook een plotselinge en zeer ongewone stijging van het ledental der Vereeniging intrad. Van 1752 op 1 Jan. 1923 steeg het tot 2528 op 31 Dec. 1923. Zooals wel verwacht had kunnen worden, waren intusschen niet al deze nieuwe leden ook „blijvers".

Waar de experimenteerende amateur van een vereeniging als de N. V. V. R., haar instellingen, en haar actie naar buiten, dagelijks het belang gevoelt, daar is niet denkbaar en bestaanbaar wat den muziekluisteraar zonder meer, aan eenige vereeniging zou kunnen binden, nog afgezien daarvan, dat de bevlieging bij sommige toestellen-koopers heelemaal slechts kort van duur is.

Als een natuurlijke gang van zaken moest dan ook — mede in verband met den economischen toestand — worden aanvaard, dat op den grooten vloed een diepe eb volgde en dat 1 Januari 1924 met 1900 blijvers werd begonnen. Het aantal groeide in 1924 weer tot ongeveer 2280 en overschreed eind 1925 de 3000.

Voor de toekomst is trouwens rustig de vraag onder het oog te zien of een vereeniging als de N. V. V. R. wel bestemd is om nu ook zoo veel mogelijk ieder, die maar een toestel bezit, ook als lid te werven. In vroegeren tijd was het bezit van een toestel een zeker teeken van een diepere technische belangstelling en van het bestaan van streven en lust om zich verder te verdiepen in de wonderen der radio-techniek. Van hen, die een radio-toestel als een gebruiksartikel zien en benutten, kan dit niet worden verwacht. Willen zij een vereeniging als de onze steunen, dan is dat dankbaar te aanvaarden, maar zij zullen nooit een gelijken band voelen als met de experimenteerende amateurs onderling het geval is. De N. V. V. R. zal er naar blijven streven, ook den beginner den weg te wijzen als hij zich *technisch* tot de draadlooze aangetrokken gevoelt. Ook zal de N. V. V. R. zich voor den Omroep als zoodanig wel degelijk interesseeren omdat het een verkeersvorm is, waarin de draadlooze een niet op andere wijze te vervullen taak volbrengt. Maar dat wil niet zeggen, dat de N. V. V. R. een vereeniging van in meerderheid omroepluisteraars moet zijn, die zich trouwens hunnerzijds voor geen enkele vereeniging op dit gebied blijvend sterk zullen interesseeren. De *voeling* met den breeder wordenden kring van radiogebruikers moet men zien te behouden omdat een klein deel ervan geleidelijk tot de experimenteerenden zal toetreden. Maar men moet de door den groei van de draadlooze telefonie ontstanen toestand duidelijk realiseeren en niet een blijvende evenredigheid tusschen ledental en aantal radio-gebruikers verwachten.

Uit een oogpunt van voeling houden met dien breederen kring is door het hoofdbestuur de regeling beschouwd, die getroffen is ten aanzien van het sedert 1 Maart 1923 naast „Radio-Nieuws" ook als orgaan der vereeniging verschijnende weekblad „Radio-Expres". Een feit is, dat dit weekblad voor de N. V. V. R. ook de voeling met nog buiten de vereeniging staande belangstellenden bevordert.

Bovendien werd in 1924, ten einde aan het streven der N. V. V. R. meer bekendheid te geven bij velen, die tot dusver door de vereeniging niet werden bereikt, een Propaganda-bureau gevormd en de heer C. H. Hebels te Rotterdam bereid gevonden, als



C. H. Hebels, leider van het Propaganda-bureau der N. V. V. R.

leider daarvan op te treden. Aan de onvermoeide werkzaamheid van den heer Hebels is het inderdaad gelukt, in verschillende deelen des lands de vereeniging meer op den voorgrond te brengen, hetgeen zich verder weer openbaarde in de vorming van een aantal nieuwe plaatselijke afdeelingen.

* * *

In 1923 werd te Parijs opgericht het Comité International de la Télégraphie sans Fil. Men wenschte nationale Comités in de verschillende landen, welke een onderdeel zouden vormen van het te Parijs gevestigde Comité International. Hiertoe wendde men zich vanuit Parijs onder meer tot de Nederlandsche Organisatie voor de Internationale Kamer van Koophandel. Deze wendde zich tot de N. V. V. R. en op verzoek van het Hoofdbestuur nam de heer mr. A. F. Poggenbeek als lid van dat bestuur op zich, verschillende personen erover te polsen. Het gelukte hem Mr. G. van Slooten Azn. voor de zaak te winnen en deze wist een Comité voor Nederland te vormen. Dit Comité, hetwelk officieel heet „Nelerlandsche Afdeeling van Het Comité International de la T. S. F.", bestaat uit de navolgende heeren: Mr. G. van Slooten Azn., Ir. Jhr. W.M. de Brauw, Prof. Mr. Dr. J. P. A. François, Dr. N. Koomans, H. G. Surie, Mr. C. L. Torley Duwel, Mr. A. F. Poggenbeek.

In twee opzichten heeft onze Vereeniging derhalve met deze aangelegenheid te maken. In de eerste plaats doordat de organisatie van het Nederl. Comité feitelijk van onze Vereeniging uit is geschied, en in de tweede plaats doordat een Bestuurslid in het Comité zitting heeft.

* * *

Op het groote amateurcongres dat in de Paaschdagen 1925 te Parijs werd gehouden en waar de oprichting der Internationale Amateur Radio Unie tot stand kwam, was ook de N. V. V. R. vertegenwoordigd. Bij de vorming der Nederlandsche Sectie van de I. A. R. U. werd een nauwe band gelegd tusschen deze sectie en de N. V. V. R., welke laatste ruimte in haar organen ter beschikking stelde voor publicaties. De voorzitter der Ned. Sectie, de heer R. Tappenbeck, vond bij het Hoofdbestuur der N. V. V. R. een open oor voor de belangen van het practisch amateurisme, dat aldus zijn internationale organisatie heeft gevonden.

* * *

Wij hebben getracht, hier in 't kort een overzicht te geven, zoowel van het ontstaan en den groei der N. V. V. R. als van haar werkzaamheid en van de vraagstukken, waarmee zij in aanraking is gekomen.

Tot de werkingssfeer der N. V. V. R. heeft ook behoord en behoort nog, een samenwerking met den A. N. W. B. voor de verbreiding der radioweerberichten, het doen van mededeelingen aan de leden, wanneer deze door waarnemingen met hun ontvangtoestellen voor bepaalde proeven waardevol materiaal kunnen verzamelen, het geven van gelegenheid aan de leden om bij groote, radiotelefonisch uitgezonden redevoeringen en debatten, daarvan een demonstratie te maken.

Dit is voor een deel het kleinere werk van de vereeniging.

De groote lijnen, die haar tot richtsnoer dienen, hopen wij in het voorgaande voldoende te hebben doen uitkomen.

's Gravenhage, Januari 1926.

HET HOOFDBESTUUR
DER N.V.V.R.

Over het Testen van Satelliet-Antennes in Europa.

Ir. C.G.M. van 't Klooster,

ESTEC, Noordwijk.

On Satellite Antenna Testing in Europe. Increase in complexity, frequency bandwidth and also other more stringent requirements for satellite antennas have required the development of more sophisticated measurement methods. Examples of implementation of such methods in Europe are discussed. It is shown, that different measurement techniques are operational, among which three near-field measurement methods.

INLEIDING

Ruim tien jaar geleden was de verre-veld meetmethode de manier om het stralingsgedrag van een antenne te bepalen. Bij deze methode is er een directe relatie tussen de lengte van de meetbaan, de afmetingen van de te meten antenne op een bepaalde werkfrequentie enerzijds en de nauwkeurigheid in het resultaat anderzijds. In de praktijk is genoemde lengte in de orde van meer dan tientallen, soms honderden meters voor microgolf antennes, hetgeen dus tot een 'buiten' meetbaan leidt, met de bijkomende complicaties zoals weersinvloeden, geschikte storingsvrije omgeving, etc.

Voor satelliet-antennes zijn er speciale eisen voor de behandeling (stofvrij, effect van de zwaartekracht, etc.), zodat een controleerbare omgeving gewenst is. Dit heeft geleid tot aanpassingen op verre-veld meetbanen: radomes of beschutte, van absorber voorziene half-open ruimtes werden rondom de te testen antenne geplaatst.

Niet lang geleden is er gestart met de ontwikkeling van nieuwe testmethoden, waarmee men op korte afstand van de antenne gegevens kan meten. Bij deze meetmethoden wordt gebruik gemaakt van een zgn. Compact Antenne Test Range (CATR) of van Nabije-Veld (NV) metingen.
De gewenste verre-veld parameters worden dan direct, zoals bij de CATR, of na data-processing verkregen, zoals bij NV-metingen. Beide meetmethoden zijn aantrekkelijk voor satelliet antennes, omdat in een controleerbare omgeving gemeten kan worden.
De plannen voor implementatie van testfaciliteiten voor satelliet-antennes in Europa zijn enkele jaren geleden besproken (ESA SP-127, 1978, Proc. Antenna Workshop ESTEC 1980).
Veel testfaciliteiten zijn nu operationeel of in een ver gevorderd stadium.

In dit artikel komen nu de volgende zaken aan de orde:

- --Er wordt, met verwijzingen naar literatuur, ingegaan op veel gebruikte meetmethoden.
- --Er wordt een overzicht gegeven van implementatie van meetmethoden voor het testen van satelliet-antennes in Europa. Daarna wordt van iedere besproken nabije-veld methode een voorbeeld van implementatie gegeven.
- --Tot slot worden er enkele resultaten besproken, die onlangs zijn gemeten aan de 'Synthetic Aperture Radar' (SAR)-antenne voor ERS-1, de Europese Remote-sensing Satelliet. ERS-1 zal in 1990 gelanceerd worden.

Verschillende Meetmethoden

1. Verre-Veld methode.

Men is bij een antenne vooral geinteresseerd in het stralings gedrag op grote afstand Er is een minimale afstand noodzakelijk om de gewenste parameters te meten, tussen antenne en meetpost. De afstand wordt bepaald door de grootte 'D' van de antenne en werkfrequentie.
Op deze afstand zijn de omstandigheden zo, dat het lijkt, alsof men zich in het verre-veld van de antenne bevindt. Al jaren geleden is er een soort vuistregel geformuleerd voor deze minimum afstand, een compromis dus, waarbij bepaalde fouten in de meetresultaten beneden een acceptabele waarde zijn.
Dit onderwerp wordt uitgebreid besproken in de literatuur, reeds ver terug in de tijd (S.Silver,1949).
Fouten zijn dus aanwezig in de meetfaciliteit, niet alleen door deze eindige afstand, maar ook door gereflecteerde signalen (reflecties aan de grond of aan obstakels) en door bepaalde stralings-eigenschappen van de antenne op de meetpost. Het herkennen van de fouten en elimineren of reduceren ervan is belangrijk voor nauwkeurige metingen.
Het is duidelijk, dat omgevings parameters en weersinvloeden een belangrijke rol spelen. Een en ander wordt beschreven in beschikbare literatuur (A.Rudge, 1986, Kummer, 1978, Hollis, 1970, IEEE Standards 1978).

2. Compact Antenne Test Range (CATR)

Bij de Compact Range wordt een vlakke golf gecreeerd door een sferische bolgolf vanuit een primaire straler, bijna een puntbron, te transformeren tot een vlakke golf met behulp van een of meerdere focusserende reflectoren.
Er wordt zo een verre-veld conditie gesimuleerd in de testzone vlakbij de focusserende reflectoren, waarin dan de onbekende antenne gemeten kan worden. Op deze manier is de lengte van de testbaan zeer kort geworden, vandaar de naam Compact Antenne Test Range (CATR).
De meetprocedures zijn vergelijkbaar aan die voor op een verre-veld meetbaan. Voor de lezer van het NERG-blad is een artikel te vinden over deze manier van meten (Vokurka,1982).
In genoemd artikel wordt met name ingegaan op een meetopstelling, waarin twee cylindrische parabolische reflectoren gebruikt worden.
In de eerste, nog steeds verkrijgbare configuraties gebruikte men een enkele reflector (offset), die 'dubbel'-gekromd is met getande reflectorranden, dit laatste om het effect van diffractie aan deze randen enigszins te controleren en zo stoorstraling in de testzone te reduceren.

Door de asymmetrische (offset)configuratie van de reflector wordt de polarisatie beinvloed. Zo wordt de richting van polarisatie van een lineair gepolariseerd bolgolf uit de primaire straler na reflectie aan de grote reflector een klein beetje gedraaid. De mate van draaiing is afhankelijk van de plaats in de testzone. Dit effect kan het meten van kruispolarisatie patronen van grote en/of 'shaped-beam' antenne bemoeilijken.
De eerder genoemde dubbel reflector opstelling heeft langere brandlijn (cylinder!) afstanden. De brandlijnen van de 2 cylindrische reflectoren staan loodrecht t.o.v. elkaar.
Het depolariserend effect is hier iets minder (Vokurka, 1976). Nog betere reductie van dit effect is mogelijk door twee dubbel gekromde reflectoren te gebruiken in een bepaalde geometrische opstelling (Mizugutch,1976, Fasold, 1986).
Bij ESTEC is een CATR gebouwd met twee cylindrische reflectoren. Deze CATR dient als 'pilot facility', voorafgaand aan de bouw van een veel grotere CATR.
Bij MBB in Duitsland wordt ook een grote CATR gebouwd.

Er is onderzoek verricht en werk is gaande op het gebied van veranderingen en verbeteringen, zowel in de eigenlijke CATR configuratie (AMTA,1987) als in de dataverwerkings technieken (Beeckman, Farhat, 1987). Laatstgenoemde technieken zijn overigens ook op een verre-veld meetbaan toepasbaar.

In fig.1 zien we een parabool antenne in de ESTEC Compact Range. Voor deze antene zou een verre-veld meetbaan een lengte van meer dan 200 meter moeten hebben. Rechts op de foto is nog juist een van de twee cylindrische reflectoren met getande randen te zien, de andere reflector is links achter de antenne.

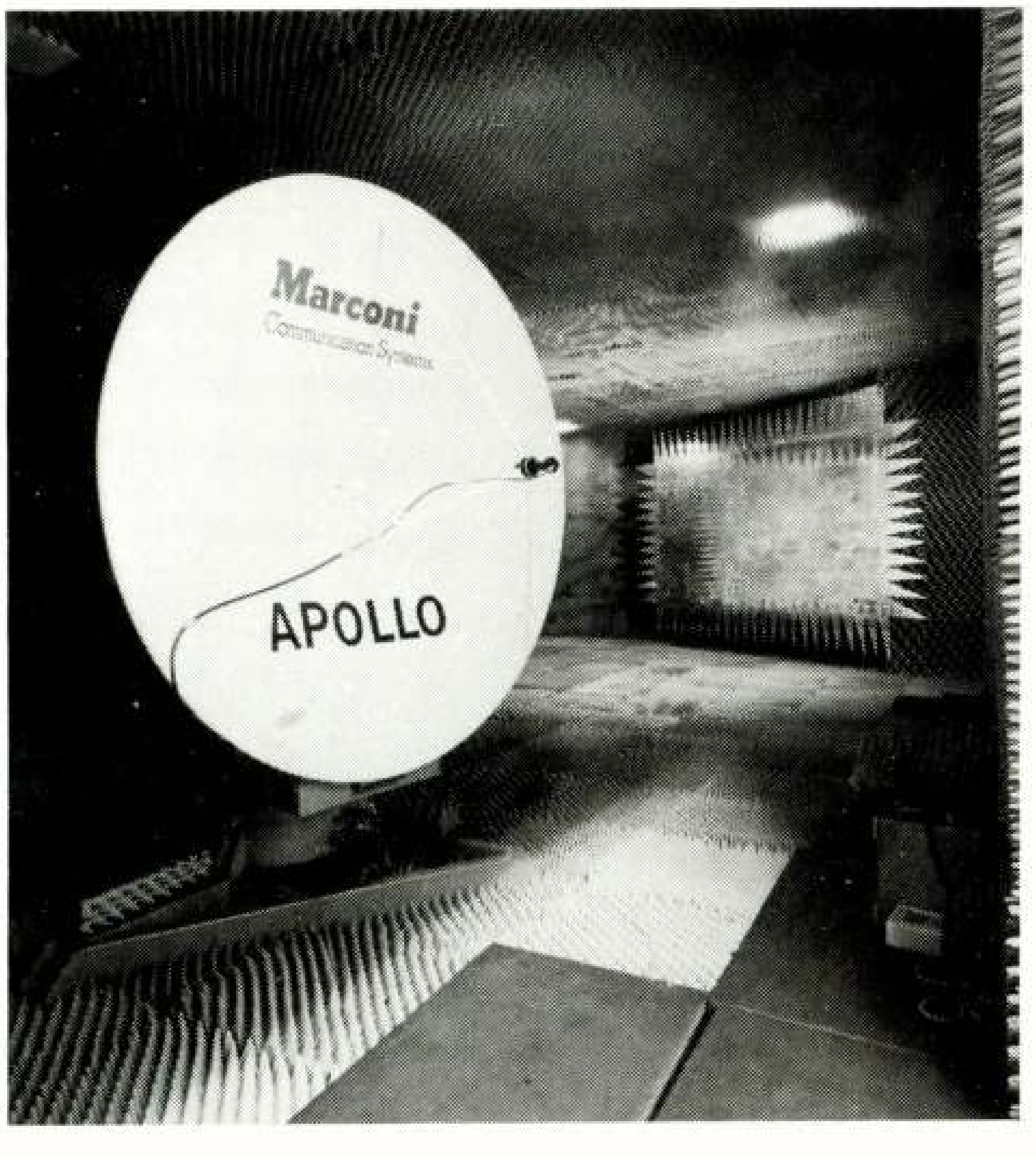


Fig.1. Grote parabolische reflector antenne op de Compact Antenne Test Range van ESTEC.

3. Nabije Veld Methoden

De manier van werken met deze methoden is totaal verschillend als bij de eerder beschreven methoden. Bij zowel de verre-veld meting als op de CATR wordt het stralingsgedrag van de onbekende antenne direct gemeten als functie van de richting. Bij nabije-veld metingen wordt het nabije-veld gemeten met een probe op een oppervlak dichtbij de antenne. Vervolgens wordt uit de grote hoeveelheid meetdata het stralingsgedrag van de antenne berekend.

Bij deze berekening wordt gebruik gemaakt van een modale veldbeschrijving voor de antenne.
Als modi, ofwel basisfuncties, worden vlakke, cylindrische of sferische golven gebruikt.
Door nu te meten over een oppervlak, dat vlak, cylindrisch of bolvormig is, kan men werken in het bijbehorende coordinatenstelsel.
Het is dan mogelijk om de coefficienten van de afzonderlijke modi in de veldbeschrijving te bepalen door gebruik te maken van orthogonaliteit. Als men de coefficienten kent, kan men overal in het gebied van geldigheid de velden precies uitrekenen, zowel in het verre- als in het nabije-veld. De verre-veld berekeningen zijn vaak eenvoudig vanuit het mode-spectrum (limietgevallen geven eenvoudige formules).

De data worden dus gemeten met een probe, in feite een kleine antenne. Deze probe heeft een richtingsgevoeligheid en beinvloed daardoor de meting. Correctie van dit effect is mogelijk. Dit wordt probecorrectie genoemd.

De transformatie van gemeten nabije-veld data naar verre-veld data is het meest eenvoudig voor de vlakke geometrie: de planaire methode. Het gebied van geldigheid ligt in de voorwaartse halfruimte. Afhankelijk van de meetopstelling is dit tot ongeveer 70 a 75°, gemeten vanaf de normaal of het meetvlak.

Bij de cylindrische geometrie is de berekening van de veldbeschrijving iets moeilijker. Het gebied van geldigheid kan in principe rondom de as van het denkbeeldige cylindrische meetoppervlak zijn.

Bij de sferische methode is de berekening het moeilijkste. Hierbij kan in principe voor elke richting de veldbeschrijving bepaald worden.
De genoemde methoden worden allemaal gebruikt. Er wordt een beschrijving gegeven voor elk van de drie nabije-veld methoden in de literatuur. (A. Rudge,1986).

De software neemt een belangrijke plaats in en is beschikbaar voor elke genoemde nabije-veld methode. Er is erg veel werk verricht bij het National Bureau of Standards (NBS) in USA (Boulder,USA) voor de drie genoemde methoden.
In Europa is er belangrijk werk gebeurd op de Technische Universiteit van Denemarken (TUD). TUD heeft de probecorrectie geimplementeerd in het programma voor de sferische transformatie. (F.H.Larsen, 1978). Het programma kan de data verwerken voor antennes tot een diameter van 300 golflengtes.
NBS heeft de software voor cylindrische transformatie beschikbaar, MBB maakt gebruik van deze NBS-programmatuur.
Bij de planaire meetfaciliteit van TNO in Den Haag is ook gebruik gemaakt van NBS software. Ditzelfde programma is ook geimplementeerd bij Ericsson voor de metingen aan de SAR-antenne.

Het lijkt misschien ingewikkeld om op deze manier antennes door te meten. Men moet wel bedenken, dat na afloop alle informatie voorhanden is om gewenste veldgrootheden van de antenne, overal in het gebied van geldigheid, te berekenen.
Er wordt soms gezegd, dat meet- en rekentijd buitensporig zijn. Dan moet men wel bedenken, dat het doormeten van een antenne op een verre veld meetbaan of Compact Range voor vergelijkbare informatie opbrengst even lang of zelfs langer duurt.

Bij nabije-veld methoden wordt op efficiente wijze gebruik gemaakt van sampling, zodat men op basis van een beperkt aantal punten toch een compleet stralingsdiagram kan reconstrueren, dat een goede weergave is van de werkelijkheid.
De dataprocessing voor de sferische methode duurt het langst. De berekening duurt ongeveer 10 a 20 % van de meettijd op een minicomputer (bijv. HP1000). Het meten van een antenne met een diameter van 50 golflengten duurt ongeveer 6 uur, met een rekentijd van 1 uur (minder dan tien minuten CPU-tijd op een mainframe).
Maar dan heeft men uiteindelijk informatie om voor alle richtingen in de ruimte rondom de antenne het veld te bepalen.

Testrange evaluatie, antenne gain-metingen

Verdergaande verzwaring van eisen dwingt tot steeds nauwkeuriger metingen. Evaluatie van de nieuwe test ranges is een belangrijk aspect geworden. Hierbij wordt wel gebruikt gemaakt van een bepaalde antenne, die dan op verschillende faciliteiten wordt doorgemeten. Deze antenne moet alleen maar erg stabiel zijn, de reproduceerbaarheid van het stralingsgedrag is het belangrijkste. Uit de vergelijking van de resultaten van de diverse testranges verkrijgt men dan bruikbare informatie over het karakter van de nieuwe testrange. Als er afwijkingen aanwezig zijn, is het niet altijd eenvoudig om de oorzaak op te sporen, omdat de resultaten vaak het resultaat zijn van nogal wat dataprocessing. (G.H. Lemanczyk,1986).
De nabije-veld faciliteiten voor de metingen van de ERS-1 antennes (antennes voor de windscatterometer en de SAR-antenne) zijn ook op deze manier gecontroleerd (G. Lemanczyk, Van 't Klooster, 1988).

Een belangrijke parameter voor satelliet antennes is de winst (gain). Deze parameter is direct gerelateerd aan antenne afmetingen.
Beperkingen voor beschikbare ruimte en gewicht van de antenne op een satelliet dwingen tot nauwkeurige evaluatie van antenne parameters.
Teveel gain zou kunnen betekenen, dat de antenne overgedimensioneerd zou zijn. Er is voor de Europese ruimtevaart industrie een mogelijkheid om standaard-gain hoorns te lenen voor antenne metingen binnen ruimtevaart projecten. Binnen deze dienstverlening zijn zo gecalibreerde standaards verkrijgbaar tot een frequentie van 30 GHz (ESA BR-19).
Het calibreren van deze standaards gebeurt op de sferische nabije-veld meet faciliteit van ESA/TUD in Denemarken.

Implementatie van antenne-meetmethoden

Tabel I geeft een overzicht van enige testfaciliteiten voor satelliet-antennes in Europa Sommige faciliteiten zijn bijna operationeel. Het is hier niet de bedoeling om volledig te zijn, maar meer om te laten zien dat diverse methoden geimplementeerd zijn.

De volgende verklaring van afkortingen is van toepassing:

NV = Nabije-Veld.
CATR= Compact Antenna Test Range
VV = Verre-Veld
TUD = Technische Universiteit van Denemarken
NBS = National Bureau of Standards (USA)
SA = Scientific Atlanta
MSS = Marconi Space Systems (Portsmouth UK)
BAe = British Aerospace (Stevenhage UK)
INTA= Institute Nacional de Tecnica Aero-espacial, Madrid.

Plaats	Land	Type	Software
ESA/TUD	Denemarken	NV Sferisch	TUD/TICRA
Ericsson	Zweden	NV Sferisch	TUD/TICRA
Ericsson	Zweden	NV Planair	NBS
TNO	Holland	NV Planair	NBS
ESTEC	Holland	CATR	March
BAe	Engeland	NV Cylindrisch	BAe
MSS	Engeland	NV Sferisch	SA
Marconi	Engeland	NV Cylindrisch	Marconi
MBB	Duitsland	NV Cylindrisch	NBS
MBB	Duitsland	CATR	-
Aerospatiale	Frankrijk	NV Sferisch	TUD/TICRA
INTA	Spanje	VV Semi open	-
ATES	Frankrijk	VV Semi-open	-
MATRA	Frankrijk	VV Radoom	-
CNET	Frankrijk	VV Radoom	-
Selenia	Italie	VV	HP

Tabel I. Enige testfaciliteiten in Europa.

Voorbeelden van implementatie

1. Planaire methode.
De 10 meter lange, fragile SAR antenne voor de ERS-1 satelliet wordt met een speciaal hiervoor gebouwde planaire scanner gemeten in de antenne-meetruimte bij Ericsson in Zweden.
Fig.2 laat de planaire scanner zien (AMTA,1987)

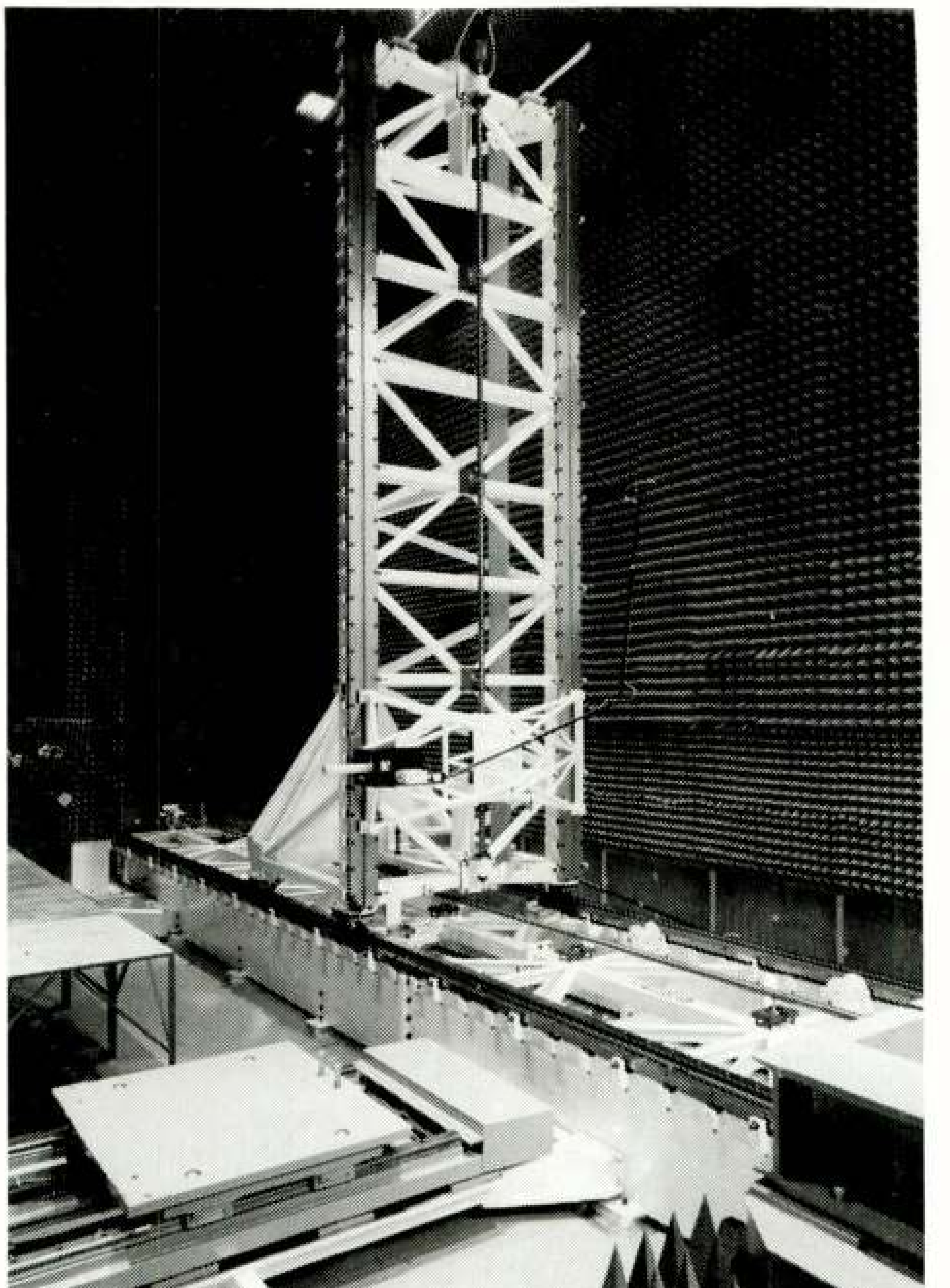


Fig.2. De ESA planaire scanner in de antenne meetruimte van Ericsson in Zweden.

Bij de planaire meetmethode kan de antenne in een gefixeerde toestand blijven, met bepaalde hulpmiddelen om het effect van de zwaartekracht te verminderen. Dit is een duidelijk voordeel bij het meten aan zulke grote en kwetsbare antennes.
De probe wordt bij deze opstelling juist voor de antenne bewogen over een meetvlak van maximaal 5 bij 12 meter. Positionering van deze probe is beter dan 0.1 mm RMS voor alle coordinaat richtingen. De tijd voor het meten van deze grote SAR-antenne is ongeveer 6.5 uur, bij op en neergaande probe beweging.
De tijd voor de dataverwerking is kort. Vooral bij zulke grote antennes bewijst de FFT, een snelle subroutine om een discrete Fouriertransformatie uit te voeren, zijn nut.
Meetdata worden daarom ook verzameld in zo goed mogelijk equidistante punten. De afstand tussen de meetpunten bedraagt iets minder dan een halve golflengte voor een zo groot mogelijk hoekbereik. Fouten in de probe positionering veroorzaken fouten in de eindresultaten, vandaar een gewenste nauwkeurigheid in de positionering.
Fouten in de electrische probe calibratie werken via de probecorrectie 'een op een' door in het eindresultaat, ongeacht het niveau in het eigenlijke antenne-stralingsdiagram.
Fig.2 toont de planaire scanner.
Er is ook in Nederland werk verricht op het gebied van de planaire meetmethode. Bij TNO in Den Haag is een planaire scanner operationeel. Hier zijn ook een paar panelen van twee meter lengte van de SAR-antenne gemeten. (Van 't Klooster,1984,1987).

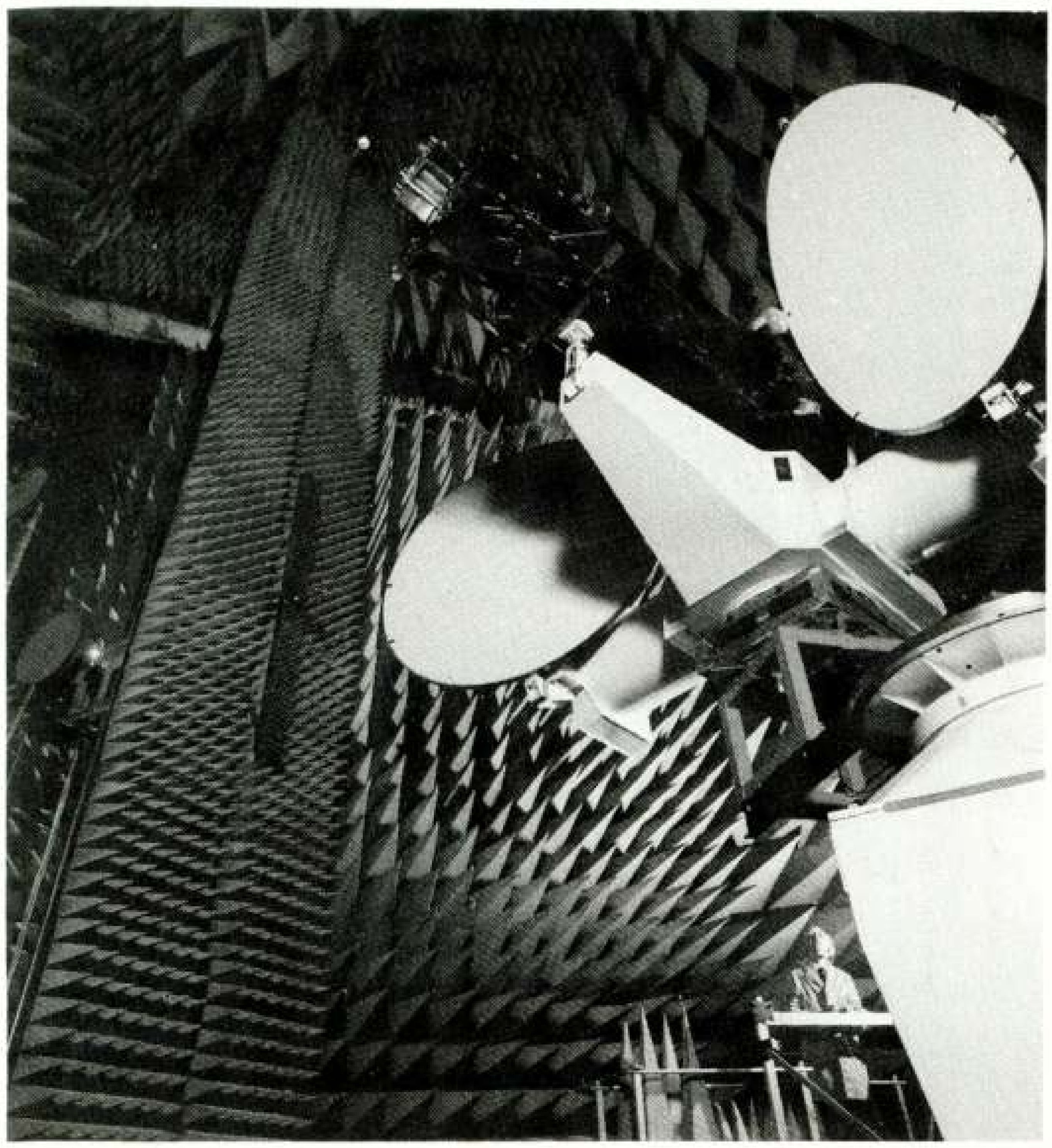


Fig.3. Cylindrische nabije-veld meetfaciliteit van MBB in Duitsland. Op de azimuth-draaitafel rechts de antennes voor TV-SAT.

2.Cylindrische meetmethode.

In fig.3 is de cylindrische nabije veld meetfaciliteit van MBB weergegeven. De probe beweegt hier langs een rechte lijn (1-dimensionaal), terwijl de door te meten antenne op een draaitafel is geplaatst en zo een rotatie uit kan voeren. Op deze manier kunnen meetdata worden verzameld, die liggen op een denkbeeldige cylinder rond de door te meten antenne.
Door weer de data op equidistante (in azimuth en in z) te meten, kan weer met voordeel gebruik worden gemaakt van de FFT, zowel in de lengte richting van de cylinder als in de azimuthale richting. Deze methode geeft in principe een 'toroidaal' geldigheidsgebied.
MBB heeft de antennes voor TV-SAT met zo'n meetfaciliteit gemeten.
Fig.3 toont deze antennes in de cylindrische meetfaciliteit van MBB.

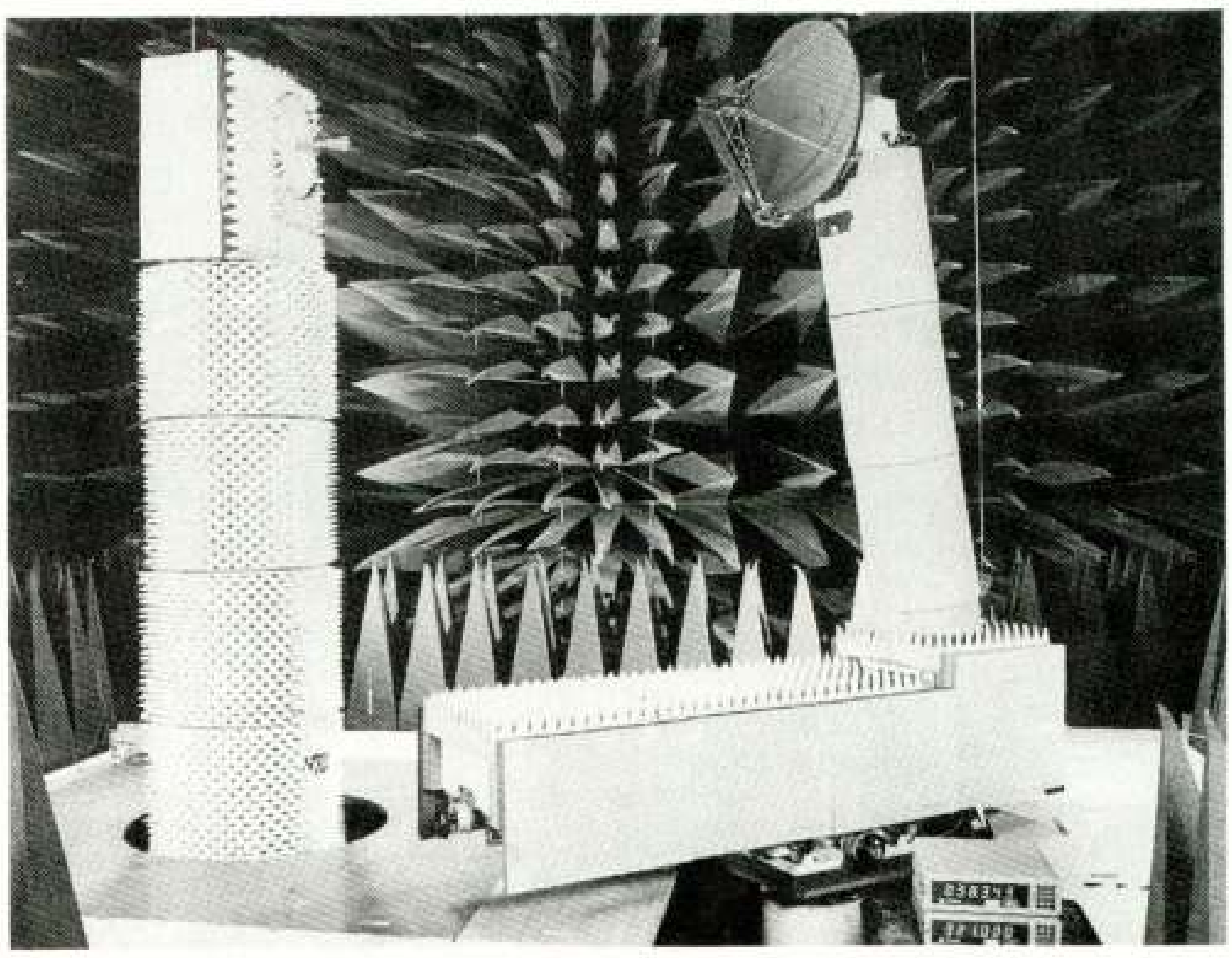


Fig.4. Sferische nabije-veld meetfaciliteit van ESA/TUD in Denemarken. De antenne rechts is een OTS antenne.

3.De sferische meetmethode.

In fig.4 is de sferische nabije-veld faciliteit te zien van ESA-TUD. (ESA BR-19).
De grondslag voor het theoretische werk op het gebied van sferische scanning is er gelegd. (F.Jensen,1970).
Bij zo'n faciliteit kunnen de gewenste data op een denkbeeldige bol worden verkregen door een configuratie als in fig.4 te gebruiken. Combinatie van polar-positioner (horizontale as met daarop de door te meten antenne, fig.4 rechts) en azimuthale positioner (verticale as) maakt elke orientatie t.o.v. de meetprobe mogelijk.
De intersectie van de twee rotatie-assen moet nauwkeurig binnen een bepaalde tolerantie worden gehouden. Bij deze opstelling moet de onbekende antenne bewogen worden. Er zijn meetfaciliteiten, waar de probe met een ingenieuze constructie over een denkbeeldig bol-oppervlak wordt bewogen en de antenne stilstaat (Aerospatiale, tabel I).
Op TUD is een hoge graad van perfectie bereikt op het gebied van calibratie van standaard gain hoorns. Normaal krijgt men bij aankoop van een standaard-gain hoorn een kromme, waaruit men de gain kan afleiden. De krommes, die men bij TUD bepaalt, zijn veel nauwkeuriger.
Hierbij praat men over sigma-fouten in de orde van grootte van ongeveer 0.03 dB.

Stralings diagrammen van de ERS-1 SAR-antenne

Fig.5 laat de SAR-antenne zien, opgesteld in de antenne-meetruimte van Ericsson. Het is een sleufstraler antenne. Aan de rechterzijde is nog de verticale toren van de planaire scanner te zien.

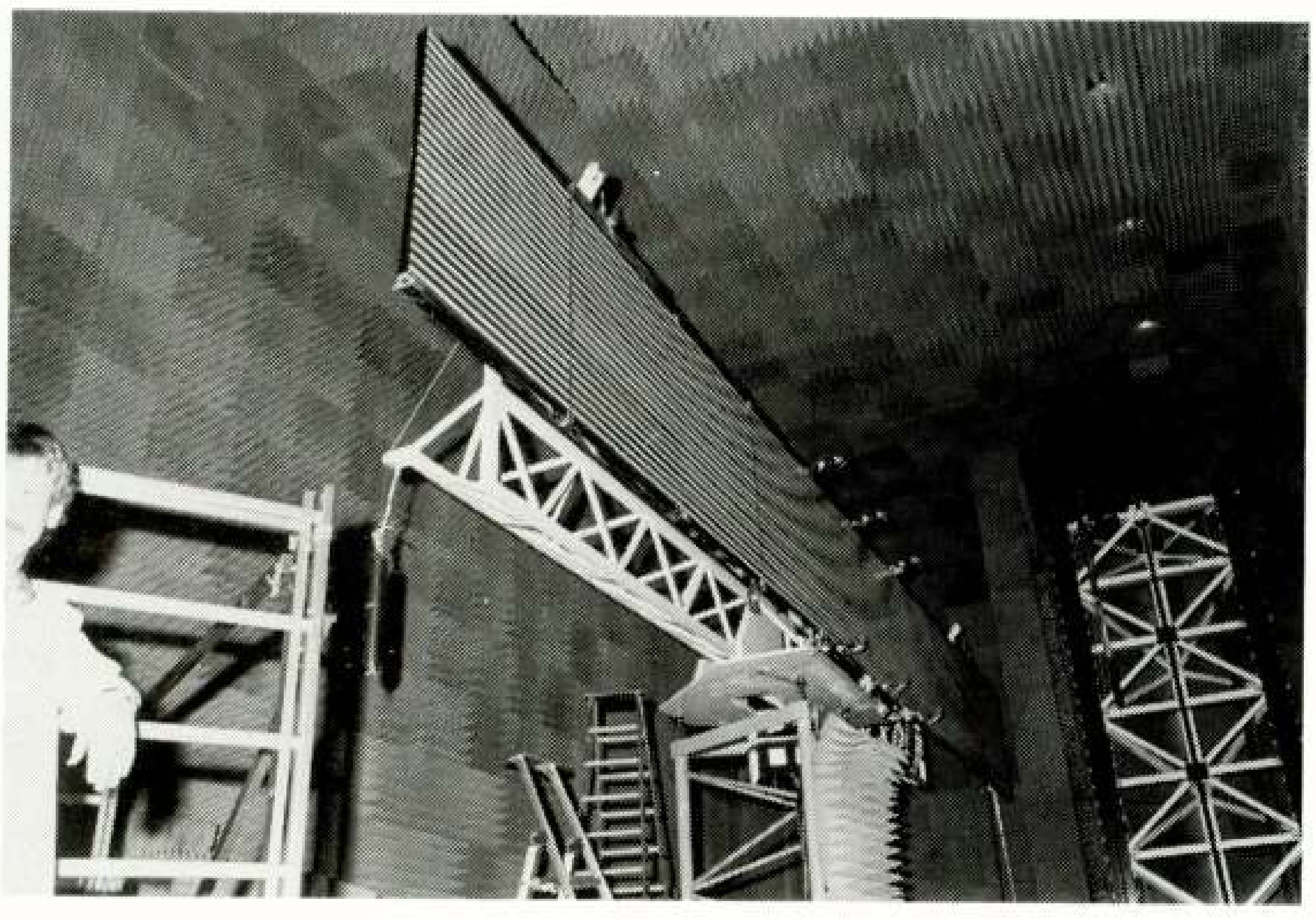


Fig.5. SAR-antenne in de testruimte van Ericsson.

De gewenste verre-veld parameters worden verkregen na transformatie en probecorrectie.
Fig.6 laat het elevatie-diagram van de antenne zien. Het elevatie-vlak is loodrecht op de antenne in de verticale richting in fig.5.
De brede bundelvorm zorgt voor goede belichting van de grond vanaf de satelliet over een strook van 80 kilometer breedte.
Het diagram in het azimuth-vlak (in de vliegrichting van de satelliet, 'along-track') is erg smal, minder dan 0.3 graden op het -3dB niveau. De onderverdeling van de antenne in 'sub-panelen' veroorzaakt een kleine afwijking in de gewenste apertuurveld-verdeling, doordat er kleine variaties (zeer klein overigens) in de panel-excitaties voorkomen. Dit leidt in het stralingsdiagram tot periodiek hogere zijlussen (fig.7).

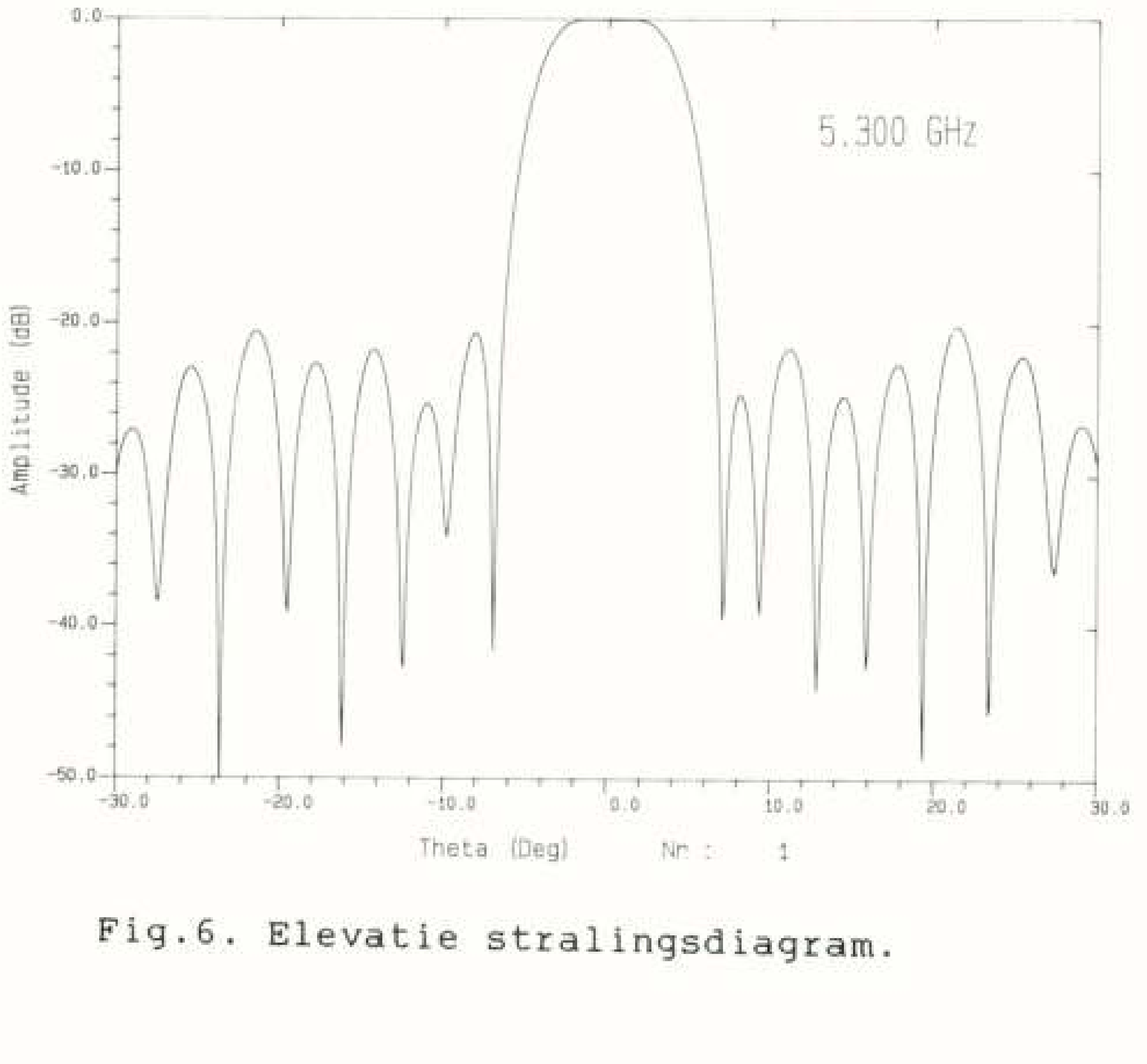


Fig.6. Elevatie stralingsdiagram.

Slotopmerkingen

Nieuwe antenne-meetmethoden zijn geimplementeerd of in een vergevorderd stadium.
Evaluatie van de nauwkeurigheid, die men kan verwachten op een bepaalde testfaciliteit, is belangrijk. Vergelijkingsmetingen geven bruikbare informatie.

Uit voorgaande blijkt zondermeer, dat het meten van satelliet-antennes niet altijd gedaan kan worden op een verre-veld meetbaan. Afhankelijk van antenne-eigenschappen, verdienen bepaalde meetmethoden de voorkeur. De planaire nabije-veld methode is het meest geschikt voor het meten van de grote SAR-antenne. Dit geldt ook voor het meten van grote planaire '(phased-) array'-antennes, waarmee men tijdens een nabije-veld meting informatie kan binnen halen voor diverse scanrichtingen en/of meerdere frequenties.
Bij de afnamemetingen kan men met nabije veld metingen op efficiente wijze de data krijgen over een groot hoekgebied. Is men geinteresseerd in het stralingsgedrag van de antenne voor een bepaalde richting, in slechts enkele doorsnijdingen of in een klein hoekbereik, dan is de 'directe' methode (verre-veld meetbaan of CATR), in principe het meest geschikt.
Dit is niet altijd mogelijk, zoals duidelijk is geworden met de SAR-antenne als voorbeeld, omdat de antenne op een draaitafel bewogen moet worden.

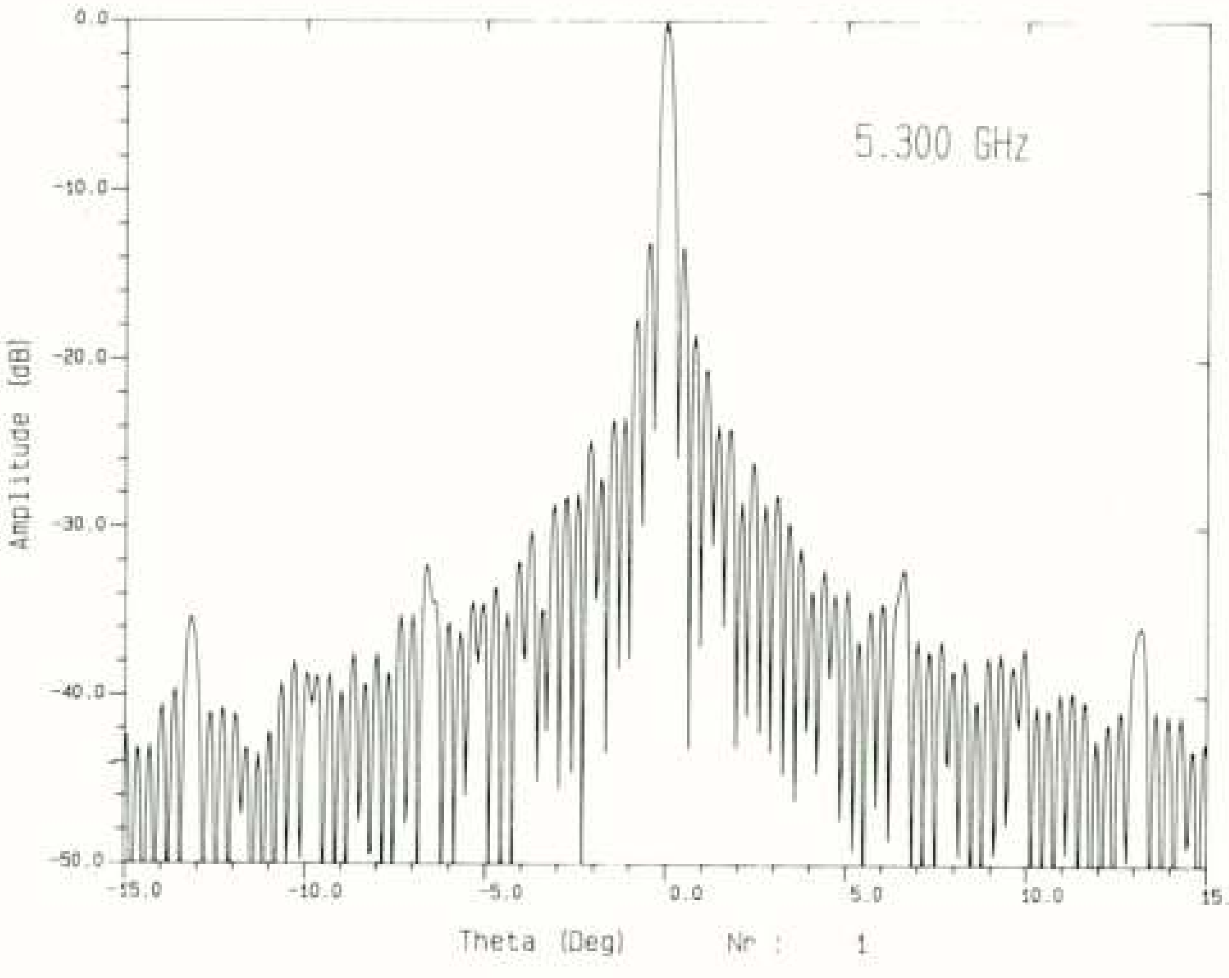


Fig.7. Azimuth stralingsdiagram.

Literatuur

'Antenna Measurement Workshop'
ESTEC 1980.

Beeckman,P., Dr. Thesis, Techn. Universiteit Eindhoven, 1987.

Farhat,K.S., Bennett,J.C. 'Wavefront quality in Antenna Pattern Measurement', IEE Proc. Vol.134, H, No.1, Febr.'87.

Fasold,D.,Dudok, 'Compact Antenna Test Range', JINA Conference, Nice, 1986.

Hollis,J.,Clayton,L., 'Microwave Antenna Measurements',Scientific Atlanta 1970.

Jensen,F., 'Electromagnetic Near-Field Far-Field Correlations', P.D. Thesis,LD 15 TUD, Denmark, 1970.

Van 't Klooster,'Planaire nabije-veld methode'
Rep.FEL-TNO 1984-22. Den Haag,1984.
Van 't Klooster, 'Radiation characteristics of
a SAR Antenna Panel determined from
planar near-field measurements',
European Microwave Conf., Rome,1987.
Kummer,H.,Gillespie,E. 'Antenna Measurements',
Proc. IEEE, Vol.66, No 4, 1978.
Larsen,F.H. 'Probe Corrected Spherical Near-
Field Antenna Measurements',
Ph.D. Thesis, LD 36 TUD, Denmark,1978.
Lemanczyk,J.H., Larsen, F.H., Hammer, J.
'An intercomparison of measurements made
on a spherical,cylindrical and compact
test range', IEEE AP-S Symp.,Boston,'84
Lemanczyk,J.H., Van't Klooster, 'An Interrange
Comparison in Support of the Evaluation
of Testranges for ERS-1 Antennas',
ESA Antenna Workshop, Goteborg, June,'88
Mizuguchi,Y., 'Offset Dual-Reflector Antenna',
IEEE AP-S Symposium, 1976.

Rudge,A.W., Milne,K., Olver,A.D. Knight, P.
'The Handbook of Antenna Design'.
IEE, P. Peregrinus, 1986.
Silver,S.'Microwave Antenna Theory and Design'
Mc Graw-Hill,1949.
'Spherical near-field testfacility'.
ESA Brochure BR-19, April 1984.
'Standards for Antenna Measurements',
IEEE publication, 1978.
Vokurka,V. 'New compact range with cylindrical
reflectors', Proc. Electr. Conf.,
Munchen, 1976.
Vokurka,V. 'Compact Antenna Range',
NERG Tijdschr. No.5/6 1982.
'Workshop on Antenna Testing Techniques'.
ESA publication SP-127.
'Antenna Measurements Techniques Association',
AMTA-Conf. Proceedings, Seattle,1987.

Voordracht gehouden tijdens de 354e werkvergadering.

EMC MEETFACILITEITEN

C. Wagemaker
Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium

Summary

EMC testfacilities are in use to verify compliance of electronic equipment with EMI regulations. This paper describes several issues related to the installation and the use of EMC facilities. It is concluded that much effort is needed to maintain such a facility, to guarantee the reliability of the test results.

1 Inleiding

Een EMC (= Elektromagnetische Compatibiliteit) meetfaciliteit dient voor het uitvoeren van EMI (Elektromagnetische Interferentie) metingen.
EMI metingen vormen een onderdeel van de beproeving van elektronische apparatuur in het kader van de kwaliteitszorg. Bij EMI metingen worden in de eerste plaats de elektromagnetische signalen gemeten welke door het testobject gegenereerd worden. Dit kunnen functionele en niet functionele signalen zijn die propageren door straling en door geleiding.
De sterkte van de niet functionele en soms ook van de functionele signalen mag een zekere limietwaarde niet overschrijden. Daarnaast wordt de apparatuur blootgesteld aan elektromagnetische stoorsignalen. Deze stoorsignalen hebben een voorgeschreven amplitude waarbij de apparatuur foutloos moet blijven functioneren.
Wanneer het apparaat aan de emissielimieten voldoet en ongevoelig is voor de stoorsignalen, dan mag worden verwacht dat het tijdens het gebruik geen aanleiding tot storing zal geven.

2 EMC-meetfaciliteit

Bij een EMC-meetfaciliteit behoren:

- apparatuur
- personeel
- procedures.

Voor het inrichten, en daarna het gebruiken en onderhouden van een faciliteit is veel kapitaal en kennis nodig. De hoeveelheid kapitaal wordt door een aantal factoren bepaald.
De belangrijkste zijn:

a. Het soort metingen, emissie- en/of gevoeligheidsmetingen, dat moet worden uitgevoerd;
b. Het frequentiegebied waarin gemeten moet worden;
c. De plaats waar de metingen zullen worden uitgevoerd, in een afgeschermde ruimte, op een open testsite of op locatie.

Tabel 1 geeft aan in welke frequentiegebieden in h
algemeen storingsmetingen worden uitgevoerd.

	Emissie	Gevoeligheid
Geleiding	0,01 Hz - 100 MHz Pulsen in tijddomein	30 Hz - 400 MHz Pulsen in tijddomein
Straling	30 Hz - 35 MHz (H-veld) 14 kHz- 10 GHz (E-veld)	30 Hz - 15 kHz (H-vel 14 kHz- 40 GHz (E-vel

Tabel 1: Typische frequentiegebieden waarin EMI metin
worden uitgevoerd.

In het algemeen geldt dat de minst dure uitvoering e
faciliteit is waar in de open lucht emissie wordt gem
ten. Vaak beter, indien zulks volgens voorschrift
toegestaan, is een afgeschermde ruimte waarin zow
emissiemetingen als gevoeligheidstesten kunnen word
uitgevoerd. Steeds geldt dat, naarmate het voorgeschr
ven frequentie gebied groter wordt, de investeringen
materiaal en kennis toenemen.

Ten aanzien van het gebruik kan opgemerkt worden dat
meetresultaten niet zelden de ontwerpers van het testo
ject frustreren. De oorzaken hiervoor zijn onbekendhe
met de voorschriften en onbekendheid met de techniek
van EMI preventie.

In een goed ingerichte en goed bemande faciliteit k
aan de hand van voorschriften uniform worden gemete
Uniformiteit is nodig omdat aan wettelijke eisen mo
worden voldaan en om onderlinge vergelijking mogelijk
maken. Om dezelfde reden moeten de resultaten reprod
ceerbaar zijn. Het reproduceren van meetresultaten
bovendien nodig om te kunnen beoordelen of de zogehet
"EMI-fixes" inderdaad tot een verbetering van de E
eigenschappen van het testobject leiden.
Naast goede procedures is ervaren personeel nodig, wa
kleine wijzigingen in de meetopstelling kunnen het mee

resultaat soms vele dB's veranderen. Hierbij moet bedacht worden, dat in de EMI-normen een absolute nauwkeurigheids eis geldt van 2 à 3 dB voor de signaalsterkte, voor frequenties ca. 2 %.
Samengevat is de eis dat met een EMC-faciliteit betrouwbare en reproduceerbare meetresultaten kunnen worden verkregen.
Een faciliteit kan als volgt worden voorgesteld:

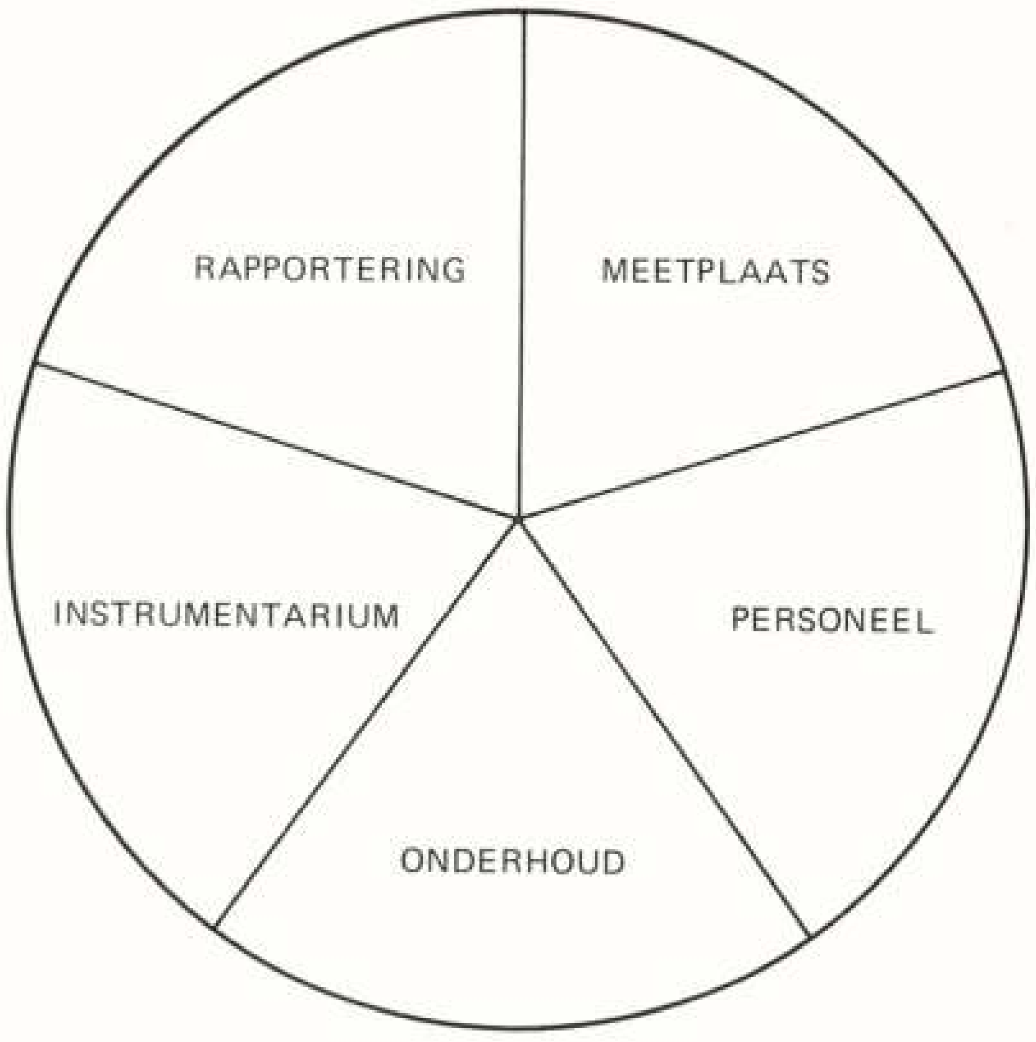


Fig. 1: Voorstelling van een complete EMC faciliteit

3 De meetplaats

Er zijn drie typen meetplaatsen: afgeschermde ruimtes, open meetplaatsen en "op locatie". De keuze wordt bepaald door de EMI norm waaraan de te testen apparatuur moet voldoen. Elk type meetplaats heeft voor- en nadelen.
In de afgeschermde ruimte, of kooi van Faraday, is men bij emissie metingen gevrijwaard van het meten van signalen die niet van het testobject afkomstig zijn. Bij gevoeligheidstesten kan men zonder hinder voor de omgeving stoorsignalen genereren. In de EMI normen die voorschrijven dat in een afgeschermde ruimte moet worden gemeten zijn geen directe eisen met betrekking tot de minimale afmetingen van de ruimte gegeven. Een eis is wel, dat bij gebruik van antennes de afstand tussen enig deel van de antenne en de metalen afscherming 0,5 m moet zijn [Ref. 2]. Ook de minimale afmetingen van het meetgrondvlak en de afstand tussen het testobject en de meetantenne zijn voorgeschreven. Dit betekent dat in de praktijk de kleinste aanvaardbare meetruimte ongeveer 5*3*3 m^3 zal meten.
De minimaal vereiste demping van de afscherming volgt uit het verschil tussen de veldsterkte die buiten de ruimte wordt gemeten en de limietveldsterkte. Volgens gangbare voorschriften moet het eigen ruisniveau in het meetsysteem minstens 6 dB onder het limietniveau liggen [Ref. 2 en 3]. Uit onderstaande grafiek kan dan worden

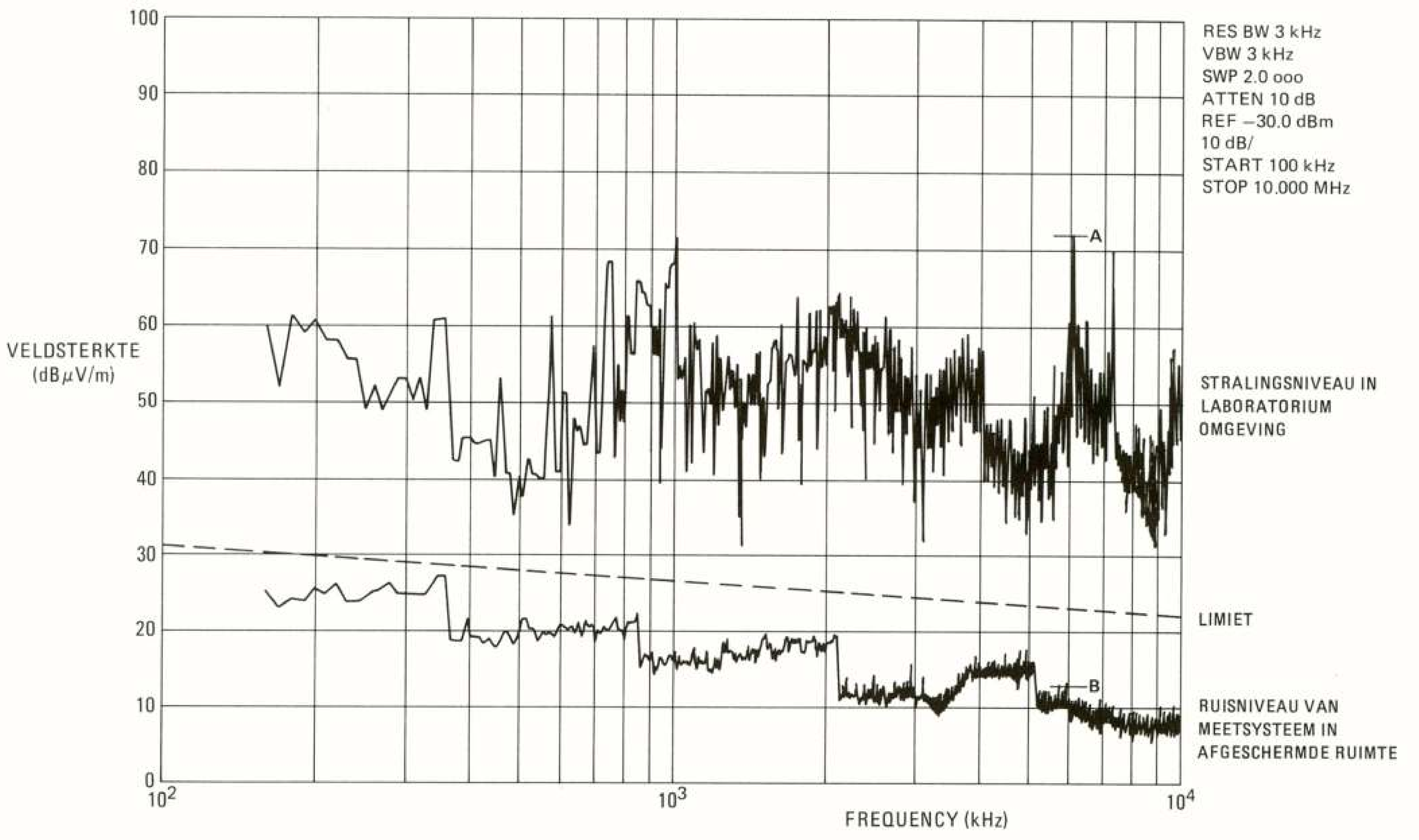


Fig. 2: Het ruisniveau ligt 6 dB onder de limiet.
Het verschil tussen niveau A en B is 60 dB. De afscherming moet minstens 70 dB demping geven

afgeleid dat de demping minstens 70 dB moet zijn opdat de straling uit de omgeving zover verzwakt wordt dat de signaalsterkte binnen de afscherming aan deze eis voldoet.

Op analoge wijze kan bepaald worden welke demping netfilters moeten hebben die benodigd zijn om elektrisch vermogen beschikbaar te hebben in de kooi. Het stoorniveau op het voedingsnet binnen de afscherming moet zeker 20 dB onder het limietniveau liggen [Ref. 2]. Onderstaande grafieken tonen typische waarden voor de demping van een afscherming en een netfilter.

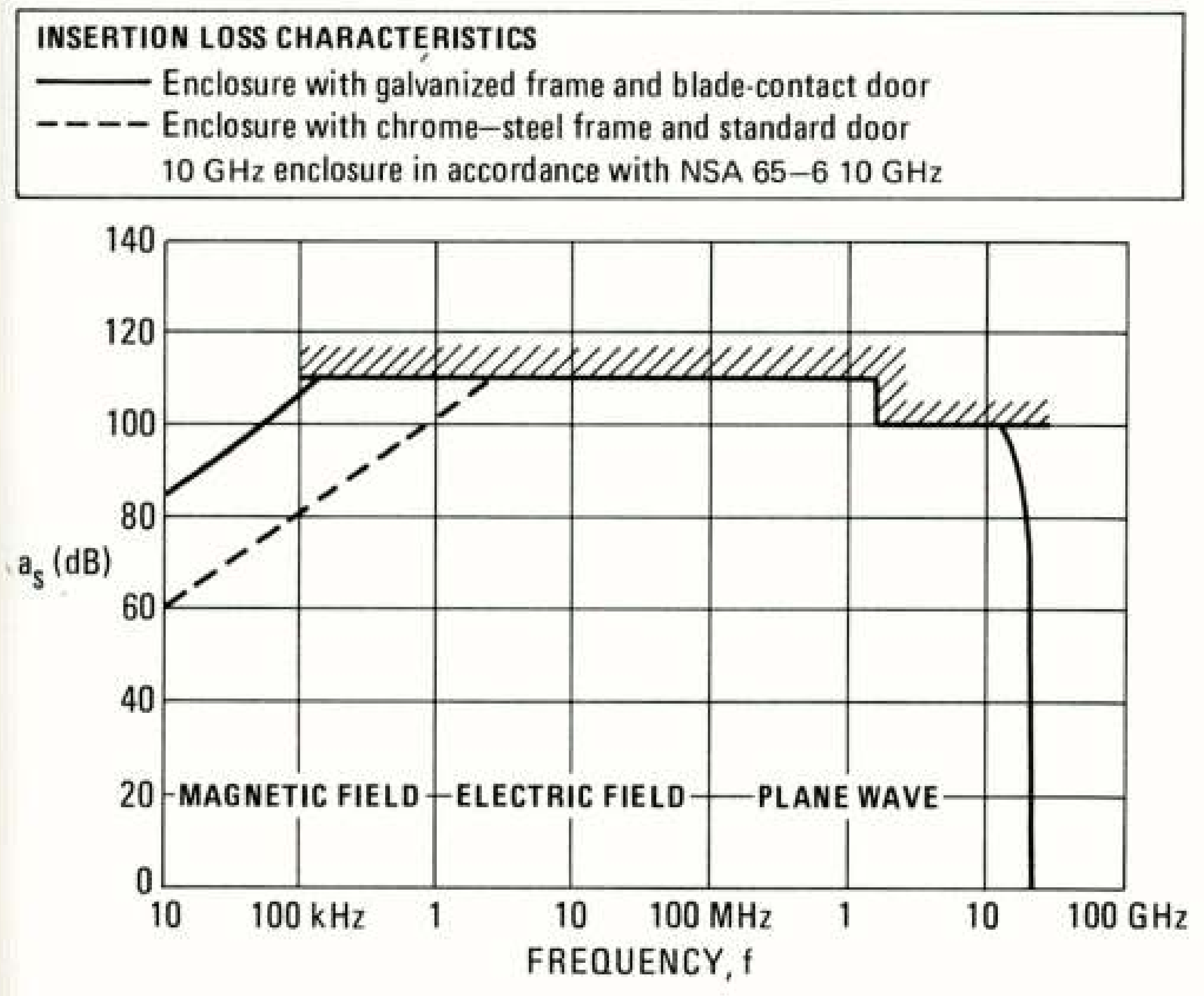


Fig. 3a: Dempingsgetallen van een afgeschermde ruimte voor twee verschillende uitvoeringen

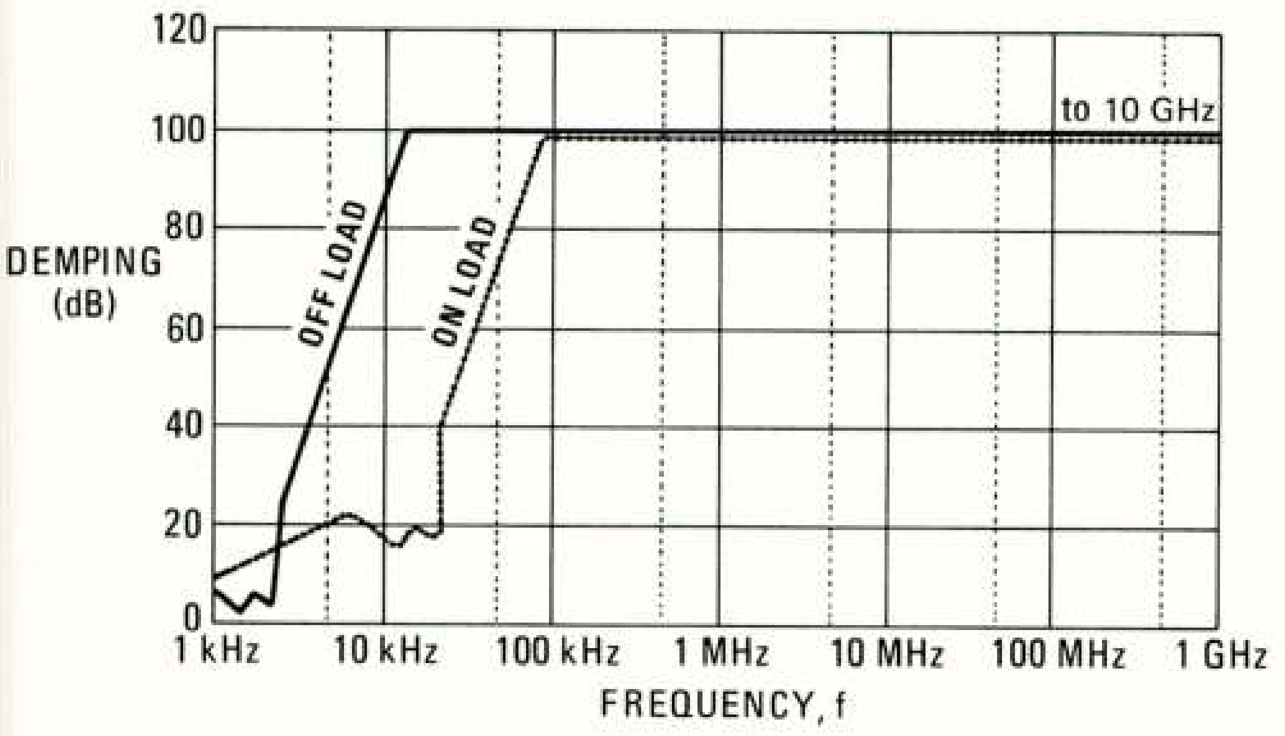


Fig. 3b: Dempingsgetallen voor een netfilter van hoge kwaliteit

Het aanbrengen van openingen en doorvoeren welke nodig zijn voor luchtverversing en leidingen mag de demping van het scherm niet verminderen. Dit wordt bereikt door het aanbrengen van roosters en filters.

Het belangrijkste nadeel van het gebruik van een afgeschermde ruimte is dat meetfouten kunnen onstaan ten gevolge van reflecties. Deze kunnen echter (deels) worden voorkomen door de ruimte van binnen te bekleden met RF absorberend materiaal. De beinvloeding van de antennes bij stralingsmetingen door het metaal van de afscherming is eveneens een oorzaak van meetfouten. In toenemende mate worden dan ook EMI voorschriften van kracht waarin geeist wordt dat de emissie van straling op een open testplaats wordt gemeten. Voorbeelden hiervan zijn C.I.S.P.R., DIN, FCC [Ref. 3, 7, 8]. In dezelfde voorschriften wordt echter wel aanbevolen om geleidingsmetingen in een afgeschermde ruimte uit te voeren. Een voorbereidende meting binnen een kooi, om het frequentiespectrum van de door het testobject gegenereerde straling te verkennen, wordt eveneens aanbevolen. Dit is inderdaad nuttig om enigszins tegemoet te komen aan het grootste praktische bezwaar van een open meetplaats, namelijk dat er altijd signalen worden gemeten die niet van het testobject afkomstig zijn. Een ander nadeel is dat relatief dure voorzieningen nodig zijn om de meetopstelling te beschermen tegen klimaatinvloeden. Van een open meetplaats zijn de minimum afmetingen voorgeschreven. In onderstaande figuur zijn de afmetingen gegeven van een meetplaats volgens diverse C.I.S.P.R. publicaties, FCC, DIN [Ref. 3, 7, 8].

Afhankelijk van de categorie apparatuur waartoe het testobject behoort, bedraagt de meetafstand 3,10 of 30 m. Van deze afstanden mag echter vaak om verschillende praktische redenen worden afgeweken.

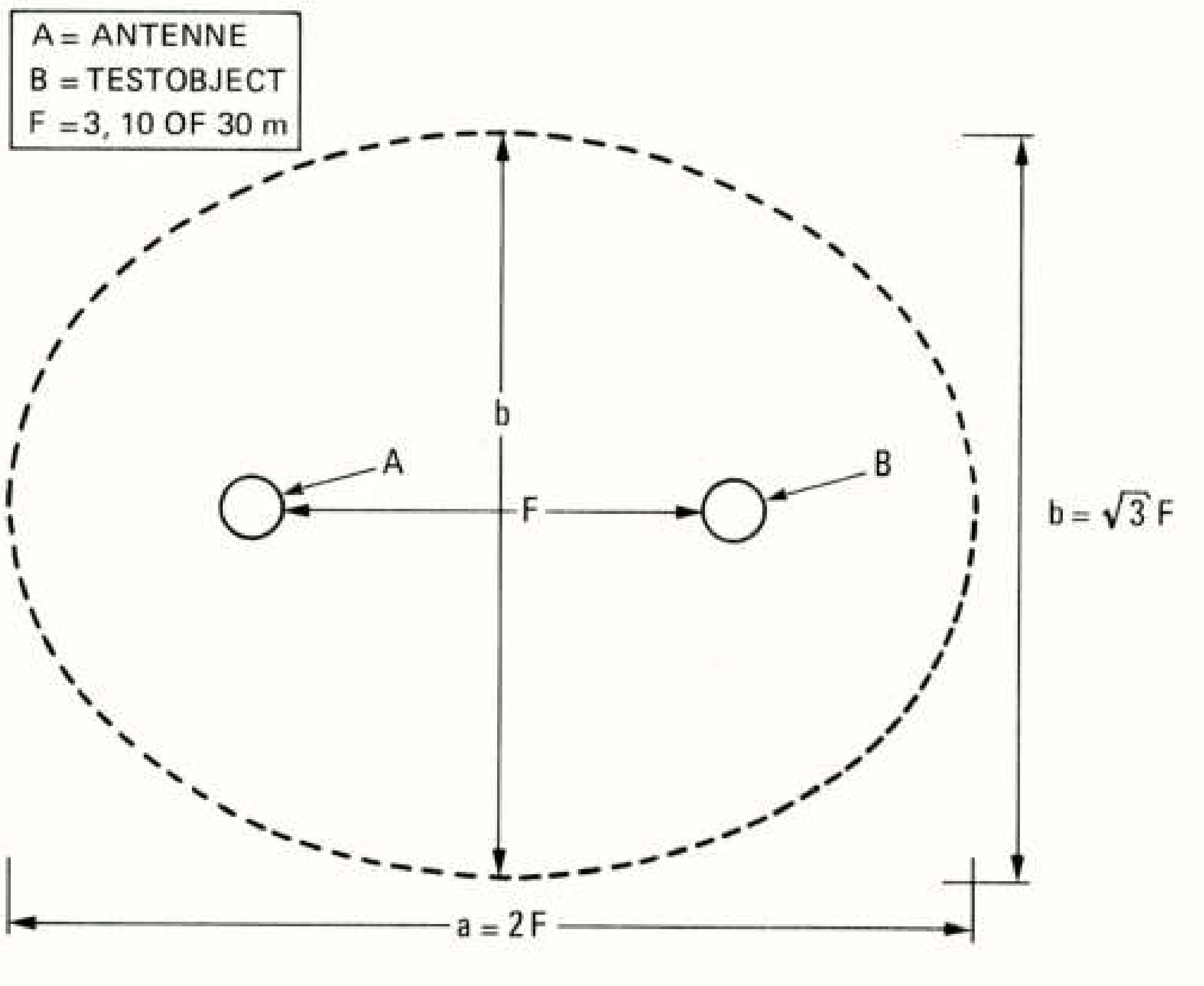


Fig. 4: Afmetingen van een open meetplaats volgens FCC, DIN en C.I.S.P.R.

Van een open meetplaats moeten de karakteristieke wegdemping en de reflectiviteit van het grondvlak bekend zijn en worden verdisconteerd in de meetresultaten.

Er wordt meestal gebruik gemaakt van een draaiplateau waarop het testobject wordt geplaatst, en van een mast waarmee de hoogte van de meetantenne boven het grondvlak kan worden gevarieerd. Beide voorzieningen zijn nodig

omdat een testobject niet in alle richtingen evenveel straling genereert, terwijl de "worst case" waarden moeten worden gemeten.
De C.I.S.P.R, DIN en FCC voorschriften stellen (nog) geen eisen ten aanzien van immuniteit. Het meten van zulke immuniteit op een open testsite kan problemen opleveren omdat het formeel niet is toegestaan (stoor) testsignalen in de open lucht uit te zenden.

Omdat sommige testobjecten niet te vervoeren zijn, zoals fabrieksinstallaties, computerruimten enz., is het soms nodig om op locatie te meten. Het zal duidelijk zijn dat in dit geval de eisen ten aanzien van de absolute nauwkeurigheid onder druk komen te staan. De reden hiervoor is dat de karakteristieken van de meetplaats onvoldoende bekend zijn. Toch kunnen de meetresultaten die bij een meting op locatie zijn vergaard nuttige informatie verschaffen. Zij geven een realistisch beeld van het elektromagnetisch milieu ter plaatse.

4 Meetinstrumentarium

Het benodigde instrumentarium kan worden opgesplitst in een deel dat gebruikt wordt voor emissiemetingen en een deel dat wordt gebruikt voor de gevoeligheidstesten. Beide delen hebben een aantal componenten gemeenschappelijk, zoals bijvoorbeeld de transducers. Voor de emissie metingen worden spectrumanalysers of meetontvangers toegepast. Spectrumanalysers hebben het voordeel dat men snel een overzicht heeft van de spectrale verdeling en de sterkte van de te meten signalen. Bovendien kan men met de nodige ervaring "zien" wat het karakter van de stoorbron is. Nadelen van een spectrumanalyser zijn de geringe gevoeligheid en het ontbreken van preselectie. Alle signalen die voorkomen in het frequentiegebied waarvoor de spectrumanalyser is ontworpen worden tegelijkertijd op de mixer aangeboden. Deze kan hierdoor overstuurd worden waardoor meetfouten ontstaan.
Meetontvangers hebben selectieve voorversterking en zijn daardoor gevoeliger dan spectrumanalysers, terwijl ook het probleem van oversturing normaliter niet optreedt. Verder kan men vaak door de ontvangen signalen na detectie hoorbaar te maken via een luidspreker, het karakter van de stoorbron nader analyzeren.
Het nadeel van meetontvangers evenwel is dat er, alvorens men het totale te meten frequentiegebied kan overzien, eerst een grafiek getekend moet worden van de amplitude als functie van de frequentie. De fabrikanten van spectrumanalysers en meetontvangers erkennen over en weer de voordelen van elkaars apparatuur. Spectrumanalysers worden nu ook wel uitgerust met voorversterking en preselectie, en meetontvangers met een panoramisch display. Verder kunnen beide typen apparatuur, al of niet als optie, worden uitgerust met middenfrequentversterkers met speciale bandbreedtes en diverse detectoren.

De meest gebruikte transducers bij emissiemetingen zijn: transformatoren, stroomprobes, antennes en impedantienetwerken. De netwerken zijn noodzakelijk om bij geleidingsmetingen de stroom of spanning in een gedefinieerde impedantie te gemeten. Antennes zijn er in grote verscheidenheid, zowel actief als passief. In het algemeen is het gebruik van breedbandige antennes te prefereren omdat men dan "gezwaaid" kan meten. Hierdoor wordt de meettijd aanzienlijk bekort.
Voor het testen van de immuniteit voor storing van het test-object zijn generatoren,versterkers en ook weer transducers nodig [Ref. 5]. In een goed uitgeruste EMC faciliteit treft men sinusgeneratoren aan waarmee in het frequentie gebied van 30 Hz tot 40 GHz signalen kunnen worden gegenereerd. Meestal moeten deze signalen ook kunnen worden gemoduleerd en daarna versterkt. Naast sinusvormige testsignalen worden pulsvormige signalen veelvuldig en in grote verscheidenheid toegepast. Tenslotte zijn generatoren nodig waarmee elektrostatische ontladingen kunnen worden gesimuleerd. Om de gevoeligheid voor geleidingstoring te testen worden de testsignalen door middel van transformatoren, stroomprobes en netwerken geïnjecteerd in de op het testobject aangesloten bekabeling. Er zijn ook methoden die gebruik maken van inductieve- of capacitieve koppeling.
De gevoeligheid voor ingestraalde stoorsignalen wordt getest door het testobject bloot te stellen aan H- en E-velden en vlakke golven. Voor het opwekken van de H-velden worden raamantennes toegepast, of er wordt om het testobject een draad gespannen waardoor stroom wordt gestuurd. Voor het genereren van E-velden zijn diverse typen antennes geschikt, al of niet breedbandig. Ook wordt de "parallel plate line" toegepast. Soms moet men speciale antennes construeren omdat bijvoorbeeld het testobject erg grote afmetingen heeft en toch in een homogeen veld geplaatst moet worden. Voor het genereren van vlakke golven zijn hoornantennes het meest geschikt.
Naast de apparatuur voor de EMI beproeving kan een EMC faciliteit worden uitgerust met een systeem waarmee de meetapparatuur wordt bestuurd (via bijv. een IEEE-bus). De verzamelde meetgegevens kunnen snel worden bewerkt en geschikt gemaakt voor publicatie.

5 Personeel

Het personeel van een EMC faciliteit moet volledig op de hoogte zijn van de geldende EMI normen. Het blijkt in de praktijk dat "de klant" er op vertrouwd dat deze kennis aanwezig is bij degene die de faciliteit beheert. Het op peil houden van deze kennis vergt veel tijd want voortdurend worden nieuwe eisen van kracht of worden bestaande eisen aangepast.
Vervolgens moet het personeel gedegen kennis van elektronica hebben. Dit om de opdrachtgever te kunnen adviseren in het geval dat het testobject niet aan de eisen voldoet. Om dezelfde reden is inzicht nodig in mechani-

sche constructies, omdat modificaties ter verbetering van de EMI eigenschappen meestal constructieve consequenties hebben. De opdrachtgever heeft niets aan niet uitvoerbare adviezen! Het spreekt vanzelf dat het personeel volledig op de hoogte moet zijn van de ontwikkelingen op het gebied van meetapparatuur. Omdat er in snel tempo nieuwe apparatuur beschikbaar komt,vergt het op peil houden van kennis op dit gebied ook de nodige tijd.
Vindingrijkheid is ook een noodzakelijke eigenschap van het personeel. Het komt namelijk zelden voor dat het testobject compatibel is met de "typische" meetopstelling die wordt voorgeschreven. Desondanks moet een meetopstelling worden gerealiseerd waarmee betrouwbare, reproduceerbare resultaten kunnen worden behaald.
Een zeer belangrijke vaardigheid van het personeel is verder die van het schriftelijk kunnen rapporteren, in het Nederlands en het Engels.

6 Meetfouten

Onderscheid moet gemaakt worden tussen systematische en willekeurige meetfouten.
Systematische fouten hangen samen met het meetsysteem. De absolute nauwkeurigheid van de meetapparatuur, de transducer-factoren en dergelijke spelen hier een rol. Wanneer de apparatuur steeds tijdig wordt gecalibreerd kunnen de systematische fouten voldoende klein worden gehouden om aan de nauwkeurigheids eis van 2 à 3 dB te voldoen. Bovendien kunnen bij geautomatiseerd meten systematische fouten worden gecorrigeerd.
Willekeurige fouten ontstaan als gevolg van variaties in de meetopstelling, omgevingsinvloeden en dergelijke. In de meetopstelling is bijvoorbeeld de lengte van de op het testobject aangesloten kabels en de configuratie waarin deze gelegd worden van grote invloed op de resultaten. Met name in een afgeschermde ruimte kunnen ten gevolge van reflecties en resonanties grote meetfouten ontaan. Bij stralingsmetingen moet ook rekening worden gehouden met het stralingsdiagram van de antenne: Het testobject moet zeker binnen de 3 dB punten van het stralingsdiagram van de antenne liggen. Er is veel ervaring nodig om deze willekeurige fouten te onderkennen en te voorkomen.
De volgende formule zou wel eens een aardig juiste indicatie kunnen zijn voor het verband tussen nauwkeurigheid en ervaring, [Nihat Yazar tijdens lezing, Ref. 1]

Nauwkeurigheid(dB)*Ervaring(jaren+1) 30

7 Onderhoud

Het onderhoud van een EMC faciliteit omvat een aantal zaken, zoals: calibratie van apparatuur, aanpassen van het instrumentarium aan nieuwe meetmethoden, het op peil houden van kennis door het personeel, reparaties en onderhoud van programmatuur voor geautomatiseerd meten.
De calibratie resultaten moeten herleidbaar zijn naar nationale- of internationale standaarden. Van de eigenschappen van de meetapparatuur, de transducers en de meetplaats moet de historie worden vastgelegd. Hierdoor kan tijdig onderkend worden of systematische fouten toenemen. Gebruikelijk is om ontvangers en spectrumanalysers ieder half jaar te calibreren, generatoren, versterkers en overige actieve componenten ieder jaar en passieve componenten iedere twee jaar.
Het op peil houden van het kennisniveau van het personeel is in een vorig hoofdstuk aan de orde geweest. Het onderhoud van programmatuur gebeurt automatisch wanneer nieuwe apparatuur in gebruik wordt genomen of als een nieuwe norm van kracht wordt: de programmatuur moet dan immers worden aangepast.
De totale tijd die nodig is voor onderhoud hangt sterk af van de complexiteit van de faciliteit, maar kan wel oplopen tot zo'n 300 man-uren per jaar.

8 Automatisering

Het doel van het automatiseren van EMI metingen is tweeledig: Het vergroten van de nauwkeurigheid van de resultaten en het besparen van tijd.

Automatiseren van emissie metingen komt erop neer dat de ontvanger via een (IEEE) bus wordt bestuurd. De meetdata worden via de bus uitgelezen en in de controller bewerkt. De bewerking bestaat erin dat de meetwaarden worden omgerekend in de eenheden waarin de limiet is uitgedrukt. Ook kunnen correcties worden toegepast als de meting is verricht met een bandbreedte die afwijkt van de limietbandbreedte. Altijd moeten frequentie afhankelijke transducerfactoren in aanmerking worden genomen. Bovendien kunnen systematische fouten worden gecompenseerd. Nadat alle bewerkingen zijn uitgevoerd worden de resultaten in een voor rapportage geschikte vorm afgedrukt [Ref. 5].
De meest moderne meetontvangers en spectrumanalysers zijn uitgerust met microprocessoren en hebben zoveel geheugenruimte dat veel van de genoemde bewerkingen zonder hulp van een externe controller kunnen worden uitgevoerd.

De automatisering van gevoeligheidstesten houdt in dat de frequentie en de amplitude van het testsignaal door een controller worden ingesteld. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van een al of niet teruggekoppeld systeem. Bij een niet teruggekoppeld systeem wordt voor het voorgeschreven frequentiegebied een tabel gemaakt. Hierin staat voor iedere testfrequentie het uitgangsniveau van de generator wat nodig is om aan het eind van de keten via versterker en transducer de vereiste stroom, spanning of veldsterkte te realiseren. Uiteraard moeten dan bij iedere test dezelfde componenten worden gebruikt (kabels bij hoge frequenties!). Bij een terug-

gekoppeld systeem wordt het testsignaal ter plaatse van het testpunt gemeten en teruggekoppeld naar de generator. Het grote voordeel van een dergelijk systeem is dat de invloed van het testobject op de amplitude van het testsignaal binnen zekere grenzen wordt geëlimineerd.
De tijdwinst die door automatiseren kan worden behaald is aanzienlijk. Bij emissiemetingen wordt de grootste winst geboekt tijdens de dataverwerking en de rapportage, bij gevoeligheidstesten hoofdzakelijk tijdens het meten.

9 Rapportering

Het rapport is het bewijs dat de metingen zijn uitgevoerd! Meestal moet het rapport gebruikt worden bij certificatie van het testobject. Een rapport waarin uitsluitend meetresultaten als getallen of grafieken worden gegeven is in het algemeen onvoldoende. Een beoordeling van de resultaten door de test expert is zeker geboden.
In een rapport moeten verder de volgende gegevens staan: identificatie van het testobject, doel van de metingen, het testplan, de toegepaste EMI norm, de meetmethoden, tijd en plaats van de metingen (klimaat omstandigheden), lijst van meetapparatuur met calibratiedata, mode waarin het testobject werkte, meetresultaten en conclusie.
Sommige instanties verlangen dat naast het testrapport geen andere documenten meer geraadpleegd behoeven te worden. Dit betekent dat de referenties nu volledig (als appendix) in het rapport moeten worden opgenomen. De omvang van het rapport neemt daardoor aanzienlijk toe, de kans op misverstanden neemt af.

10 Conclusie

Het inrichten van een EMC faciliteit vergt aanzienlijke investeringen. Voor de exploitatie van de faciliteit is ervaren personeel nodig. Het handhaven van de vereiste nauwkeurigheid van de meetresultaten vraagt veel inspanning.
Het automatiseren van EMI metingen draagt bij tot grotere nauwkeurigheid van de meetresultaten en leidt tot aanzienlijke tijdbesparing bij het meten en bij de rapportering.

11 Referenties

1. M. Nihat Yazar, New dimensions for EMC standards EMC symposium record, Zürich 1983.
2. Anon, Mil Std 462: Measurement of Electromagnetic Interference Characteristics. Department of Defense, Washington, 1971
3. Anon, C.I.S.P.R. Publication 16: Specification for radio interference measuring apparatus and measurements methods.
4. D.R.J. White, Handbook Series on Electromagnetic Interference & Compatibility. Volume 2: EMI test methods and Procedures. DWCI, USA.
5. O.B.M. Pietersen: Methoden voor het genereren van stoorsignalen bij susceptibiliteits metingen. PATO cursus over Elektromagnetische Compatibiliteit, 4e druk, november 1987, TU Eindhoven.
6. C. Wagemaker, NLR MP 86078 U: Automated elektromagnetic interference measurements. Nationaal Lucht- & Ruimtevaart Laboratorium. ATE'87. Internationaler Kongres und Ausstellung für Rechnergestützte Mess- und Prüftechniek, maart 1987, Wiesbaden.
7. Anon. DIN 57871 Teil 100: Funk-Enstörung von Datenverarbeitungs-Einrichtungen und elektronischen Büromaschinen. VDE, Berlin, 1984.
8. Anon. FCC Rules and Regulations Part 15, Radio Frequency Devices, Washington, 1981.

Voordracht gehouden tijdens de 355e werkvergadering.

ENKELE ASPECTEN VAN "ELECTROSTATIC DISCHARGE" (ESD)

J.J. Goedbloed

Philips Research Laboratories, P.O. Box 80.000, Eindhoven, The Netherlanas

Some aspects of Electro-Static Discharge (ESD). This article presents a number of aspects of Electro-Static Discharge, ESD, in relation to malfunctioning of electronic equipment, in particular digital equipment. After an introduction of the ESD phenomenon, parameters related to the shape of the discharge current pulse are discussed. Electrical networks used in the simulation of the ESD phenomenon are presented. The coupling path between the point of discharge and the malfunctioning device is considered and some amplitude limits for the disturbing pulse are given. This article concludes with several aspects of ESD immunity testing of electronic equipment.

1. INLEIDING

Het gebruik van kunststofmaterialen om de mens te kleden en vloeren, tafels e.d. mee te bekleden, de plastic verpakkingen, het rolletje cellotape, enz., enz., maken de kans groot dat mens of ding elektrostatisch worden opgeladen, waarna een uitermate kort durende ontlading mogelijk wordt. Deze ontlading wordt meestal aangeduid met ESD, de afkorting van Electro-Static Discharge. Meer hierover in § 2 van dit artikel. De gevolgen van een ESD kunnen uitermate vervelend zijn. Het kan gebeuren dat een ontlading plaats vindt op de aansluitpunten van een component uit een elektronisch apparaat, waarna blijkt dat de component "dodelijk is getroffen". Het kan ook gebeuren dat de ontlading aan de buitenkant van het elektronisch apparaat plaats vindt. Er gaat dan meestal niets kapot, doch bij digitale apparatuur kan dan een bit worden omgezet (en meestal niet het minst-significante) waardoor het apparaat of systeem (denk aan een robot) spontaan iets anders gaat doen dan wordt verwacht. Er zijn overigens nog al wat verhalen in omloop die beweren dat een ESD een component kan "aanslaan", op zodanige wijze dat het apparaat nog wel functioneert op het moment dat het de fabriek verlaat doch dat de levensduur van de component aanzienlijk is bekort. Het blijkt echter dat instituten, die deze zogenaamde "latent failures" trachten op te wekken, deze beweringen tot nu toe niet duidelijk kunnen bevestigen. Het device is òf direct kapot òf de geringe schade herstelt zich bij een levensduurtest. Men reagere dus uitermate terughoudend op indianenverhalen over "latent failures".

In dit artikel, dat een voorpublikatie is van een artikel in het Philips Technisch Tijdschrift [1], zal geen aandacht worden geschonken aan de beschadigingskant van de ESD-problematiek, al zullen veel van de te bespreken punten evenzo gelden bij het aspect 'beschadigen'. In [1] wordt wel aandacht aan het beschadigen van devices besteed. In toenemende mate worden thans halfgeleider-chips voorzien van beschermingscircuits, zodat deze problematiek duidelijk afneemt. Ze neemt mogelijk weer toe als de snelheid van de digitale bouwstenen nog verder wordt opgevoerd, omdat de beschermingscircuits in het algemeen een capacitieve belasting op de ingangspoort van zo'n bouwsteen vormen. Dit laatste is meestal ongewenst.

In dit artikel gaat de belangstelling uit naar het aspect foutfunctioneren als gevolg van ESD. Bij foutfunctioneren gaat het betreffende elektronische systeem in het algemeen niet kapot (tenzij als gevolg van de ellende die dat fout-functioneren veroorzaakt). Meestal is er een groot verschil in de gevolgen bij analoge apparatuur en digitale apparatuur. Bij analoge apparatuur duurt de storing even lang als het ESD-verschijnsel, tenzij integrerende eigenschappen van die apparatuur een rol spelen. Bij digitale apparatuur duurt de storing meestal tot het moment dat wordt ingegrepen en, bij niet correct ontworpen apparatuur, betekent dit ingrijpen meestal: apparaat uitzetten, aanzetten en alles opnieuw opstarten/programmeren (zie ook aan het eind van § 5).

ESD wordt momenteel wel de grootste plaag voor het correct functioneren van digitale apparatuur genoemd, zeker nu de klant vrijwel niet meer onder de indruk is van de verworvenheden der elektronica en "alleen maar" een apparaat wil hebben dat zich niet verslikt op het moment dat iemand of iets zich durft te bewegen. In de laatste jaren is er internationaal veel belangstelling voor het onderwerp ESD [2 t/m 6]. Dit artikel is min of meer een samenvatting van de stand van zaken in 1987. Na een inleiding over het verschijnsel ESD in § 2 volgt een verdergaande beschouwing van de stroompuls als gevolg van ESD in § 3. Daar komt onder meer aan de orde waarom de ene ESD niet de andere is terwijl toch beiden met dezelfde oplaadspanning starten.

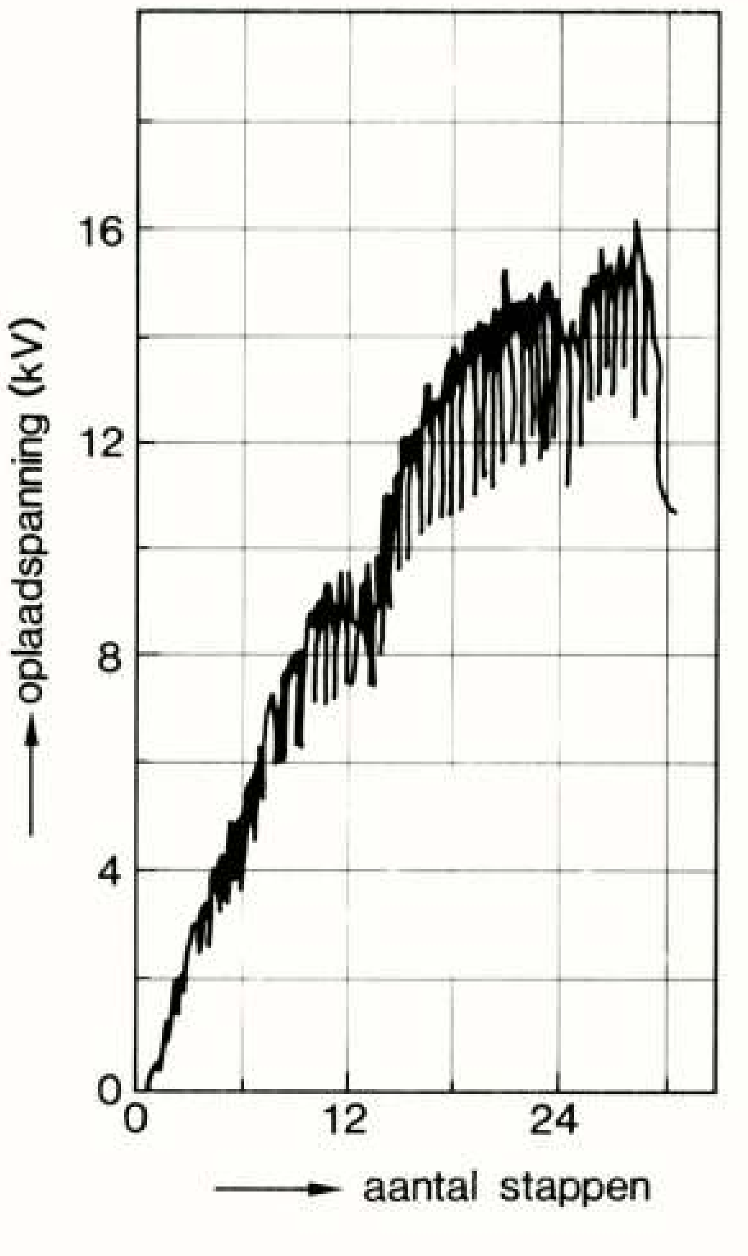


Fig. 1. Het opladen van een persoon die over een synthetisch tapijt loopt, als functie van het aantal stappen, volgens [7].

In § 4 aandacht voor het simuleren van ESD met behulp van speciale apparaten, omdat het bij het testen op immuniteit voor ESD steeds moeilijker wordt vrijwilligers te vinden, die .... In § 5 komt de koppelweg aan de orde, tussen het punt waar de ontlading plaats vindt en de plaats in de elektronische schakeling waar de van de ESD afkomstige stoorpuls voor een verstoring zorgt. Ook wordt daar aandacht besteed aan de maximale amplitude die de stoorpuls bij een digitale bouwsteen mag hebben. Tot slot in § 6 aandacht voor het testen van elektronische apparatuur op immuniteit voor ESD.

Het opladingsverschijnsel is meestal van tribo-elektrische aard. Fig. 1, overgenomen uit [7], geeft een voorbeeld van de oplaadcurve van een persoon die over een synthetisch tapijt zijn weg zoekt. Bij het opladen speelt de relatieve vochtigheid van de omringende lucht een belangrijke rol. Fig. 2 geeft enkele van de vele mogelijke curves van de maximale oplaadspanning als functie van die vochtigheid. Is men eenmaal opgeladen, dan is de relatieve vochtigheid ook bepalend voor de snelheid waarmee de lading kan weglekken. Dit laatste speelt zich meestal in een tijdsbestek van enkele tientallen seconden af [8].

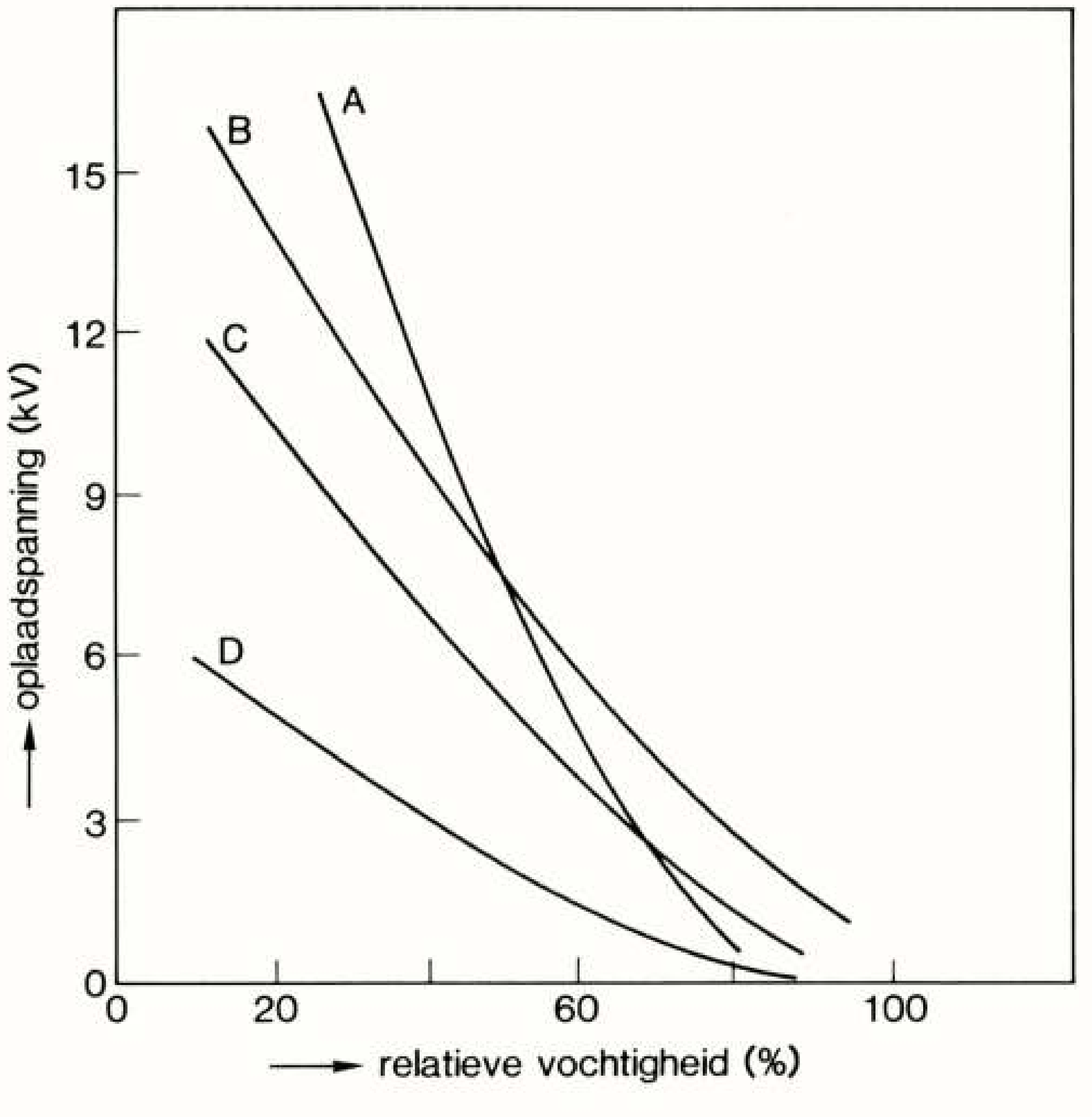


Fig. 2. Voorbeelden maximale oplaadspanning als functie van de relatieve luchtvochtigheid. A: lopen over een rubber mat over een afstand van 60 m; B: plastic zak van een werktafel nemen; C: lopen over een vinyl-vloer over een afstand van 60 m en D: vanuit een zittende positie opstaan.

Is de mens opgeladen dan neemt men aan dat een capaciteit van tussen de 100 en 200 pF is opgeladen (afhankelijk o.m. van de houding van de mens ten opzichte van de "elektrode" met de andere polariteit). Via $E = ½CV^2$ ziet men dan dat de energieën in de orde van enkele 10-tallen mJ liggen. Worst-case wordt in de literatuur nog wel eens 80 mJ genoemd, al meent men extreme waarden als 400 mJ te hebben waargenomen. Bij de mens zijn de ladingen meestal op een paar plaatsen geconcentreerd: de voetzolen (tegenover de tegengestelde lading op het tapijt) en uitstekende delen, zoals de uitgestrekte hand, al dan niet met een (metalen) voorwerp daarin. Ontlaadt de mens zich dan is de lange tijd gerekend met een inwendige weerstand van de mens van 150Ω, zie ook fig. 14a waar men op wat hogere waarden uitkomt. Voor verdere literatuur zie [9 t/m 12].

Tot slot van deze inleiding wijzen we er op dat in het algemeen een mens het "prikken" (het schok-effect) van een ESD pas voelt wanneer de oplaadspanning hoger is dan ca 2 kV. In § 3 zal naar voren komen dat ontladingen van "lage" spanningen een hogere steilheid van de ontlaadpuls hebben dan ontladingen van "hoge" spanningen en uit de beschouwingen van § 5 volgt dat ontlaadpulsen met een hoge steilheid een groot stoorpotentieel hebben. Bij ontladingen van lage spanningen kan het dus zijn dat men een functiestoring van een apparaat veroorzaakt zonder zich daarvan bewust te zijn, omdat men niets voelde.

2. ESD

Het ontladingsverschijnsel dat kan volgen nadat mens of ding zijn opgeladen, wordt in de literatuur meestal met ESD (Electro-Static Discharge) aangeduid. Deze aanduiding is wellicht wat ongelukkig gekozen omdat mogelijk wordt gesuggereerd dat de ontlading een statisch verschijnsel is, terwijl het juist een zeer dynamisch verschijnsel is. DSE (Discharge of Static Electricity) zou wellicht een betere naamgeving zijn. Wat echter van groot belang is, is dat men er zich goed van bewust is dat ESD en de gevolgen daarvan in elektronische apparatuur, niet begrepen kunnen worden met beschouwingen uit de elektro-statica en zogenaamde laagfrequentbeschouwingen, waarbij uitsluitend wordt gekeken naar een ontlaadstroom die via geleiding door het apparaat gaat en dat apparaat via laagohmige (bij 50 Hz) aardverbindingen en/of het netsnoer weer verlaat.

Het pulsvormige ontladingsverschijnsel, met stijgtijden van enkele nanoseconden en een duur van enkele tientallen nanoseconden waar het de ontlaadstroom bij het ontladingspunt betreft, heeft frequentiecomponenten die tot honderden MHz-en belangrijk kunnen zijn, zie § 5. Bij hoge frequenties overheerst bij geleiders de reactieve component van de impedantie (vuistregel: de zelfinductie van een geleider is 1 nH/mm ≡ 1 μH/m), beginnen parasitaire capaciteiten, vooral die bij het ontlaadpunt, een belangrijke rol te spelen en is de ontlaadweg een zeer effectieve antenne voor de velden, veroorzaakt door de bewegende ladingsdragers. Door dit laatste zijn bij ESD ook inductie-effecten belangrijk, zeker bij apparatuur in kunsstofbehuizingen en bij de kabels die met de apparaten zijn verbonden; denk bijvoorbeeld aan de flatcables bij digitale apparatuur.

Hoewel sommigen de velden nogal eens vergeten, zijn het toch geen pas-ontdekte verschijnselen. Het was immers Heinrich Hertz die in 1880, dus ruim 100 jaar geleden, met behulp van een vonk-ontlading het bestaan van elektromagnetische golven aantoonde. Zie hiervoor Fig. 3, overgenomen uit het Natuurkundeboek [13] van de auteur, uit de tijd dat hij de middelbare school bezocht. Het boek vertelt dat Hertz de vonkontlading verkreeg met een inductieklos en dat hij: ".... voor het aantonen der golven een resonator gebruikte als in Fig. 212, bestaande uit een cirkelvormige draad, geopend en op deze plaats eindigend in koperen bolletjes. Treft de elektromagnetische golf de resonator, dan gaat de elektriciteit daarin meetrillen en treden tussen de bolletjes kleine vonken op....". Als equivalenten van de gebogen draden kunnen de lussen op printplaten worden gezien, de koperen bolletjes zijn dan de aansluitpennen van de componenten op die printplaten.

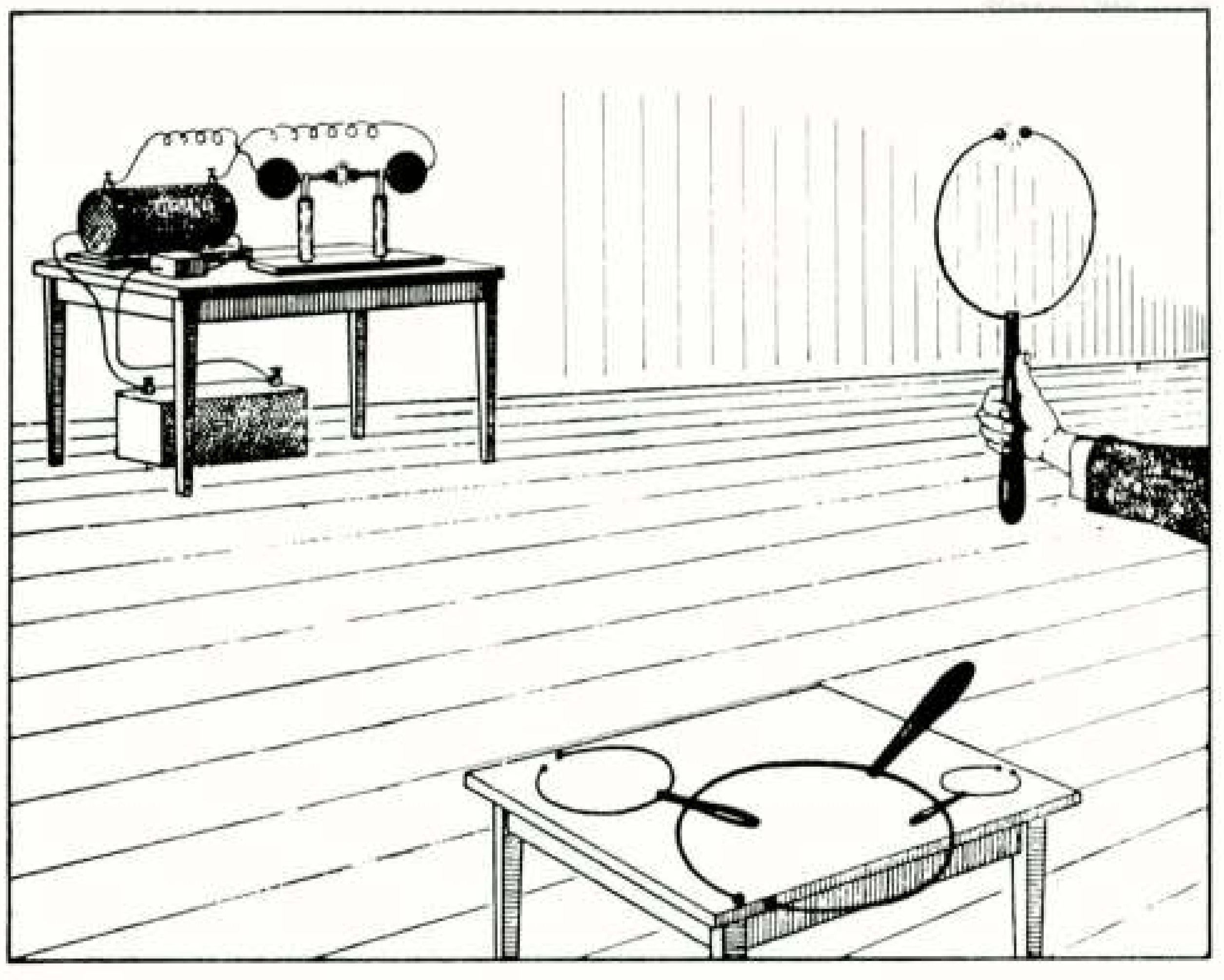


Fig. 3. Aantonen elektromagnetische golven, Heinrich Hertz, 1880.

Ondanks het belang van de velden, is het aantal kwantitatieve gegevens daarover vrijwel nihil. De oorzaak moet worden gezocht in de hoge moeilijkheidsgraad van veldmetingen aan een zo kort durend verschijnsel als ESD. Schattingen geven waarden van zo'n 80 V/m op 20 cm afstand en 8 V/m op 70 cm afstand bij een ontlading van 14 kV, [14]. Voor enige informatie over velden, die ontstaan wanneer de ontlaadpuls door de metalen afscherming van een apparaat loopt, zie [15].

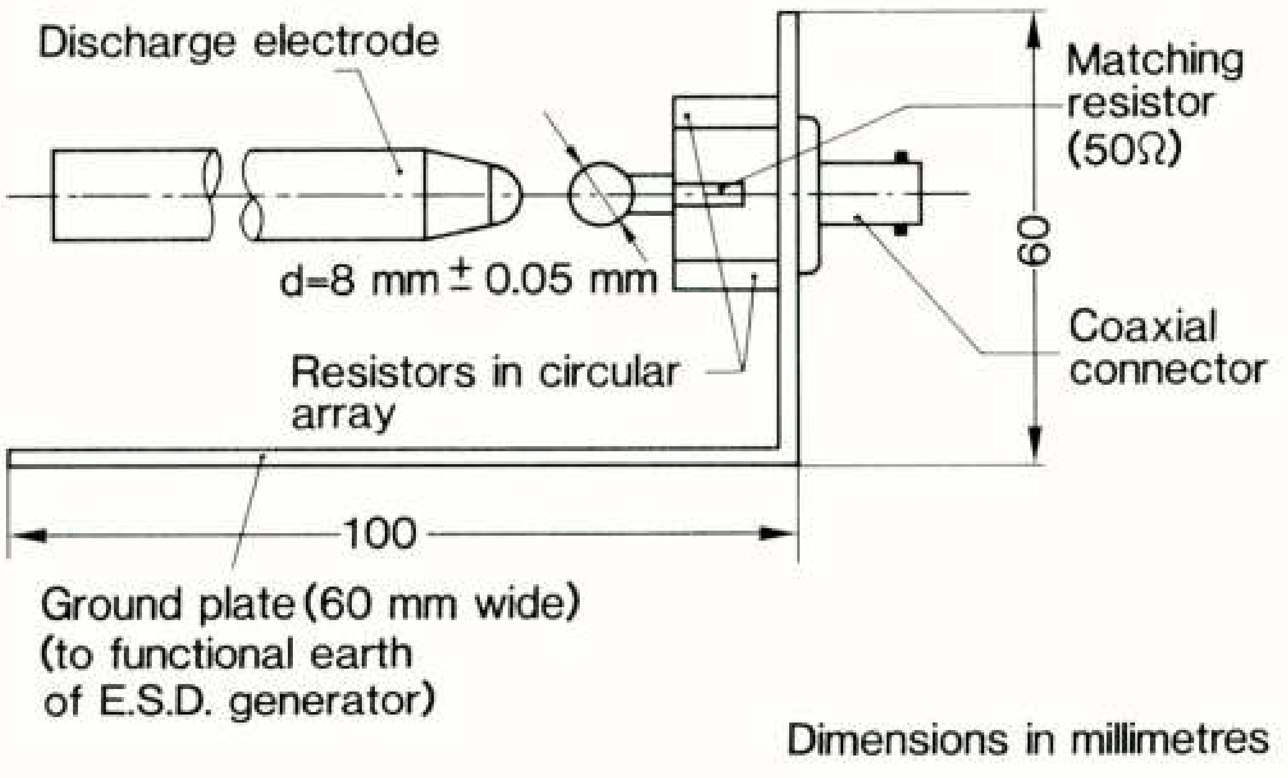


Fig. 4. De door IEC in haar Publicatie 801/2 gestandaardiseerde meetkop voor het meten van ontlaadstroom van een (gesimuleerde) ESD.

Wel is er veel onderzoek gedaan naar het gedrag van de ontlaadstroom, wanneer de ontlading plaats vindt op een internationaal afgesproken meetkop [6]. Fig. 4 toont een schets van deze IEC meetkop. De ontlading vindt plaats op een rond metalen bolletje van afgesproken diameter (8 mm), dat via een krans van parallelgeschakelde weerstanden (vervangingsweerstand 1 Ω) met de referentie van het systeem is verbonden en via een 50 Ω weerstand met het meetsysteem kan worden verbonden. De krans van weerstanden (met zo kort mogelijke aansluitdraden) maakt het mogelijk om tot een meetweerstand te komen die zich tot frequenties > 500 MHz nog als een echte weerstand gedraagt. Wil men het verschijnsel serieus bestuderen dan is als meetinstrument een z.g. Transient Digitizer, bijv. Tektronix 7912 HB, die eenmalige (!) verschijnselen met een bandbreedte van 700 à 800 MHz kan vastleggen, geen overbodige luxe. Een resultaat, verkregen met de genoemde meetkop waarop een persoon (oplaadspanning 3kV) zich via een metalen voorwerp ontlaadde en verkregen met de genoemde Tektronix Transient Digitizer, is weergegeven in Fig. 5a, b. De ontlading is twee maal uitgevoerd, een keer met een tijdschaal van 5 ns/div en eenmaal met een tijdschaal van 20 ns/div. In beide gevallen is de stroom door de 1 Ω weerstand weergegeven op een schaal met 0.4 A/div. Vooral in Fig. 5-b is te zien dat de ontlaadpuls opgebouwd gedacht kan worden uit een zeer snelle voorpuls plus een "langzame" puls (voor zover men bij ESD over langzaam kan spreken). Door het gebruik van meetapparatuur met onvoldoende bandbreedte was de snelle voorpuls aanvankelijk onbekend en werd, als gevolg daarvan, een onvolledige ESD-immuniteitstest gestandaardiseerd [6]. De ontdekking van de snelle voorpuls verklaarde echter veel stoorproblemen die ondanks het testen volgens IEC 801/2 nog voorkwamen. IEC werkt nu aan een nieuwe teststandaard [16], die mogelijk al in 1988 verschijnt. De beschikbare gegevens over de nieuwe standaard wijzen echter wel op een mogelijk "doorschieten naar de andere kant", d.w.z. het zou nu wel eens kunnen blijken dat de test zwaarder wordt dan in een zeer hoog percentage van de praktijk gevallen. Afwachten dus tot de definitieve tekst vastligt, IEC is in elk geval op dit mogelijk "doorschieten" geattendeerd.

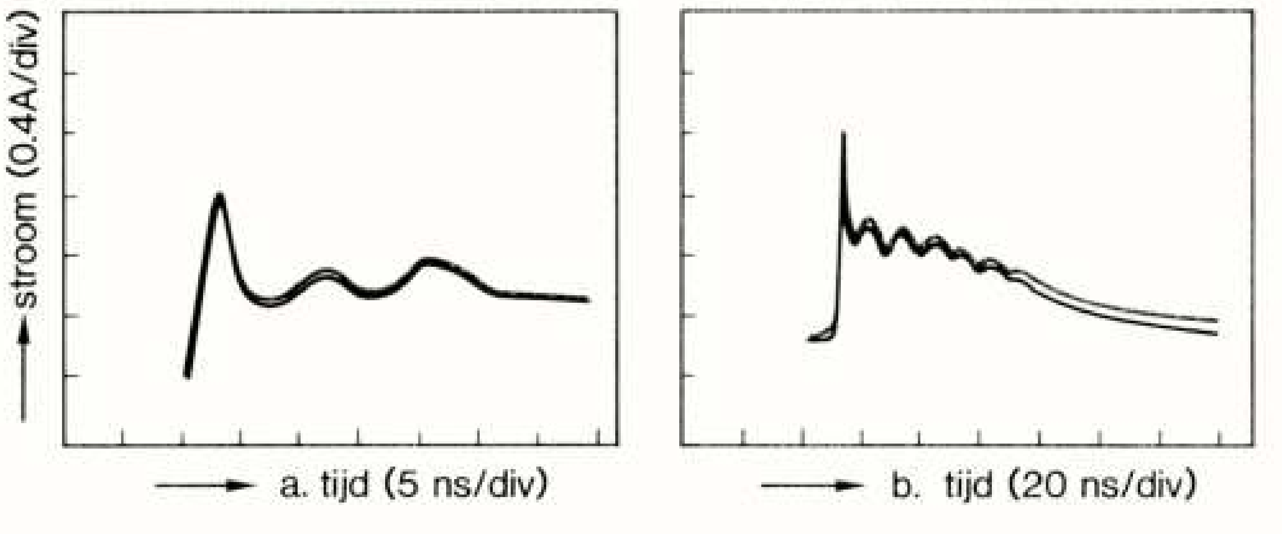


Fig. 5. Ontlaadstroom gemeten met de meetkop volgens Fig. 4 veroorzaakt door een ESD van een persoon die tot 3 kV was opgeladen. De persoon ontlaadde zich via een in de hand gehouden schroevedraaier. (Curves overgenomen van foto's.)

Na deze wat algemene inleiding over het ESD verschijnsel volgt nu een kort overzicht van zaken die te maken hebben met de uiteindelijke vorm en grootte van de ontlaadpuls.

3. DE STROOMPULS

De uiteindelijke vorm en grootte van de stroompuls worden door heel wat factoren bepaald. Een der factoren is de impedantie tussen het punt waar de ontlaadvonk start en het punt dat door de ontlaadvonk wordt getroffen, dus de impedantie van de sluitweg van de stroomkring. Het gebeurt nog al eens dat men, kennismakend met het verschijnsel ESD, alleen kijkt naar de impedantie tussen het trefpunt van de vonk en een of andere mysterieuze aarde, waarin alle stroom zou verdwijnen. Dit is een onjuiste gedachtengang, die men wel vaker tegenkomt wanneer het over stoorproblemen gaat. Stromen lopen echter altijd in kringen, dus moet naar de volledige sluitweg worden gekeken, zoals zeer goed is beschreven in [17]. Zodoende moet, als voorbeeld, ook iets gezegd kunnen worden over de impedantie van de menselijke arm en hand, wanneer een vinger aan die hand de vonk veroorzaakt, zie § 4.

In het algemeen zullen er steeds een aantal sluitwegen zijn, dus een aantal stroomkringen parallel aan de "vonkbaan". Een belangrijke kor-

te sluitweg, namelijk die welke bepalend is voor de snelle voorpuls in Fig. 5, is de (parasitaire) capaciteit tussen de punten waartussen de ontlading plaats vindt. Dit is ook te zien in Fig. 6-a, b en c. In alle drie de figuren is dezelfde korte voorpuls aanwezig, bepaald door de aanwezigheid van deze capaciteit (zie ook C_2 bij de discussie bij Fig. 10.). Bij Fig. 6a was er géén directe verbinding tussen de referentie van de meetkop en de referentie van de ontlaadvinger. Bij Fig. 6b en c was die verbinding er wel en deze had bij Fig. 6b een lengte van ca. 30 cm en bij Fig. 6c een lengte van ca. 200 cm. In Fig. 6a is er geen "langzame" puls omdat de lange sluitweg een te hoge impedantie had, terwijl in de overige 2 figuren deze puls er wel is. De grotere zelfinductie van de lange sluitweg (de lus met de lange "aardverbinding") zorgt ervoor dat de stijgtijd van de "langzame" puls in Fig. 6c groter is dan die in Fig. 6b. Zie hierover ook [18].

Sluiten we de factor sluitweg-impedantie zo goed mogelijk uit door steeds hetzelfde opgeladen voorwerp (bijvoorbeeld een simulatiepistool, zie § 4) in steeds dezelfde positie te ontladen op de gestandaardiseerde IEC-meetkop, dan kan men vaststellen dat corona-effecten de pulsvorm en pulsgrootte beinvloeden en dat zij dat sterker doen naarmate de oplaadspanning hoger is.

Corona, door zeevarenden wel het St. Elmusvuur genoemd, kan worden omschreven als het "sproeien" van lading vanaf het ontlaadpunt. Als gevolg van de zeer hoge (statische) velden rond het ontlaadpunt, wordt de lucht bij dat punt geioniseerd. Veronderstellen we dat de punt positief is geladen, dan zullen de positieve ionen van de punt worden afgestoten en zich in de richting begeven van het punt waarop de ontlading plaats vindt. De ionen beginnen als het ware de ontlaadroute geleidend te maken. De ontlading komt al "langzaam" op gang, wat betekent dat de stijgtijd van de puls sterk verlengd wordt, [19]. Zoals in § 5 zal worden besproken, neemt de kans op het storen van een apparaat af met het toenemen van de stijgtijd. De kans op storen is dus afhankelijk van de mate waarin corona bij de ontlading "actief" is. Bij corona is de relatieve vochtigheid van de lucht een belangrijke parameter. Hoe hoger de relatieve vochtigheid des te meer doet corona mee. We zien dus dat een hoge relatieve vochtigheid op twee manieren gunstig werkt: de oplaadspanningen kunnen niet zo hoog worden en de stijgtijden van de ontlaadpuls niet zo kort.

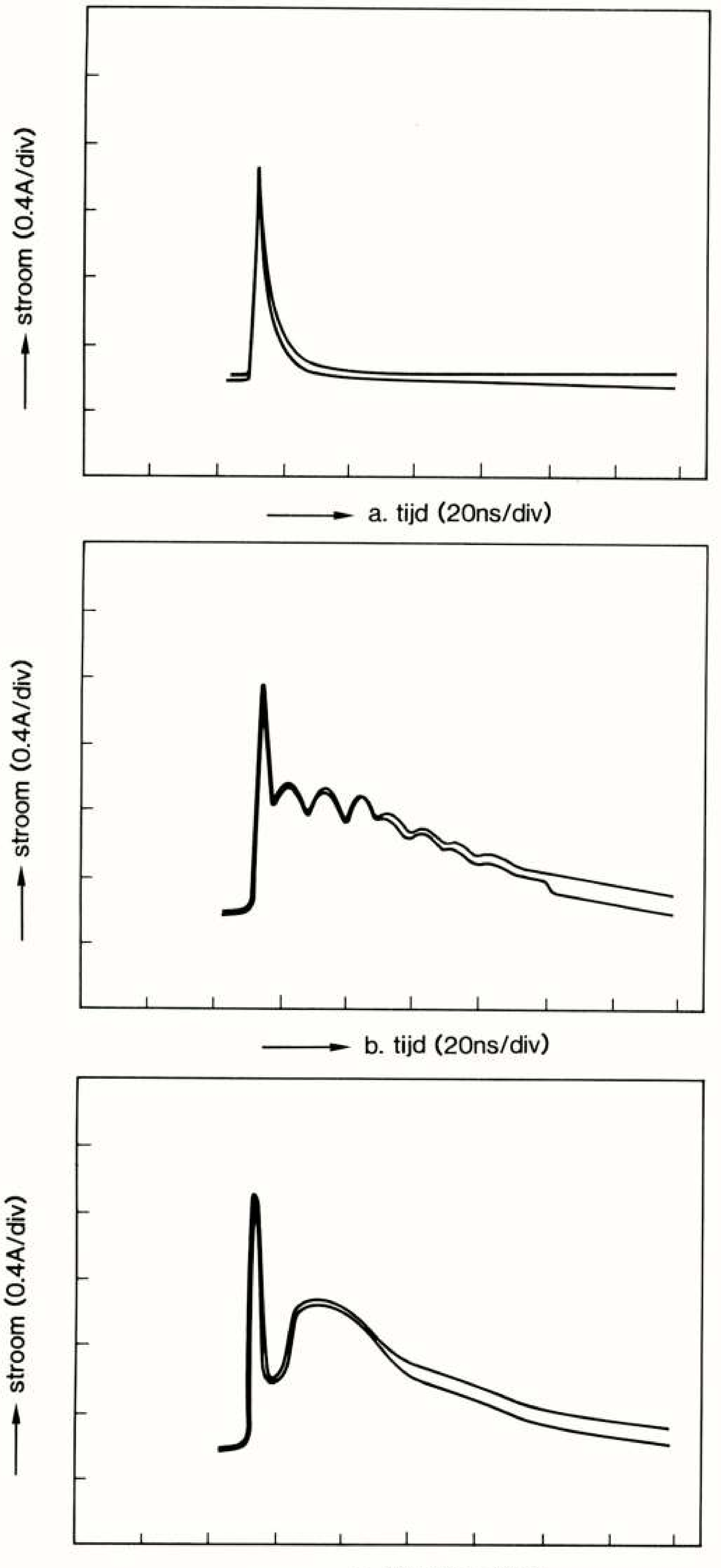


Fig. 6. Invloed van geen of wel een directe verbinding tussen de referentie van de IEC-meetkop en de ontlaadvinger; a) geen verbinding, b) verbinding van ca. 30 cm lengte en c) verbinding van ca. 200 cm lengte. Oplaadspanning 5 kV. (Curves overgenomen van foto's.)

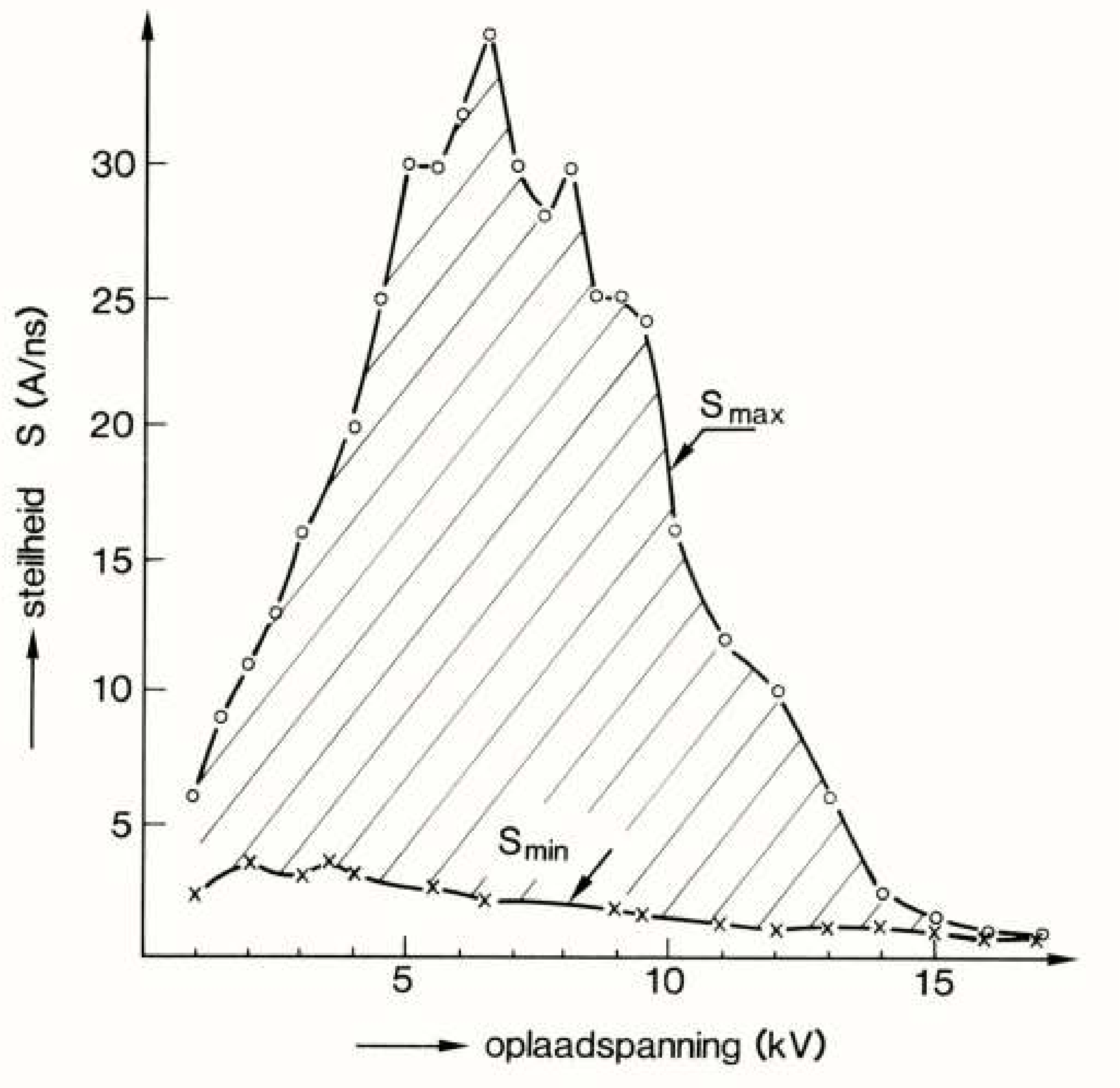


Fig. 7. De minimale en maximale steilheid van een ESD-stroompuls als functie van de oplaadspanning volgens [18].

Op het gebied van de stijgtijden is veel belangrijk onderzoek gedaan door Daout en Ryser [18,20]. Als voorbeeld van hun resultaten is

in Fig. 7 de minimale en maximale steilheid S (in A/ns) van de stroompuls gegeven als functie van de oplaadspanning (in kV). Volgen we de curve voor S_{max} dan zien we dat S_{max} aanvankelijk toeneemt met de oplaadspanning, hetgeen verwacht mag worden. Bij een spanning van 6 à 8 kV houdt dit echter op en wordt zelfs een afname van S_{max} waargenomen, een afname veroorzaakt door corona efecten. Deze waarnemingen verklaarden een effect dat al bekend was bij hen die ESD-immuniteitstesten uitvoeren, n.l. het effect dat bij testspanningen tot ruwweg 6 kV een apparaat niet-immuun bleek te zijn, dat wel was bij testspanningen groter dan die 6 kV, om dan bij zo'n 15 kV weer niet-immuun te zijn. Dit laatste niet-immuun hield dan meestal een permanente beschadiging van het apparaat in, terwijl het niet immuun zijn bij testspanningen kleiner dan 6 kV meestal een functiestoring betrof, die middels een "reset" was te herstellen.

De verschillen tussen S_{max} en S_{min} worden voornamelijk veroorzaakt door variaties in relatieve luchtvochtigheid, door de tijd tussen 2 opeenvolgende ontladingen (rest-ionisatie) en door variaties in de naderingssnelheid van het opgeladen object naar het ontlaadpunt. Een voorbeeld van de afhankelijkheid van de steilheid van de stroompuls als functie van de naderingssnelheid is gegeven in Fig. 8, afkomstig uit [20]. In hun beschouwingen maken de auteurs van [20] onderscheid tussen 3 zones: Zone A waarin de steilheid laag en constant is, zone C met de steilheid hoog en constant en een overgangszone B. Bij de relatief hoge spanningswaarde, 16 kV, is de steilheid in zone C dus zo'n 8 keer groter dan in zone A. Vooral in zone B is de spreiding der resultaten groot. De normale naderingssnelheden liggen in de praktijk tussen de 0.01 en 0.5 m/s. De resultaten in Fig. 8 werden verkregen met een speciaal ontworpen toestel met een langs de meetkop roterende (rotatiesnelheid variabel) oplaadbare "vinger". De resultaten uit Fig. 7 waren "handwerk" met een simulatiepistool.

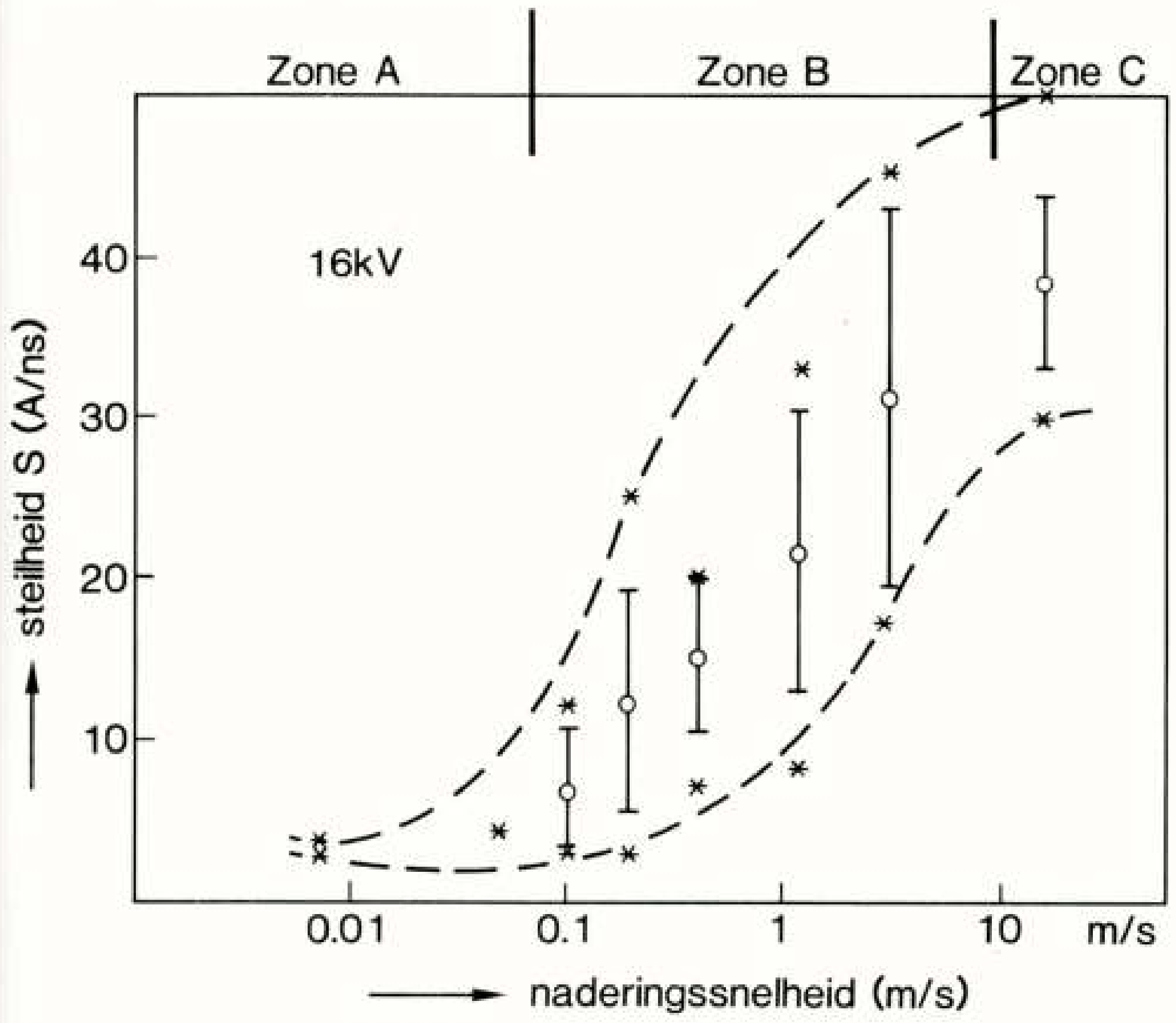


Fig. 8. Variatie van de steilheid van de ESD-stroompuls als functie van de naderingssnelheid van de oplaadvinger tot de IEC-meetkop, volgens [20].

Verdere onderzoekingen van Daout en Ryser [20] hebben tot de conclusie geleid dat de steilheid en de maximale stroom in de puls hoofdzakelijk worden bepaald door de lengte van de vonkboog. Dit heeft bijvoorbeeld tot gevolg dat bij een vaste booglengte, de maximale

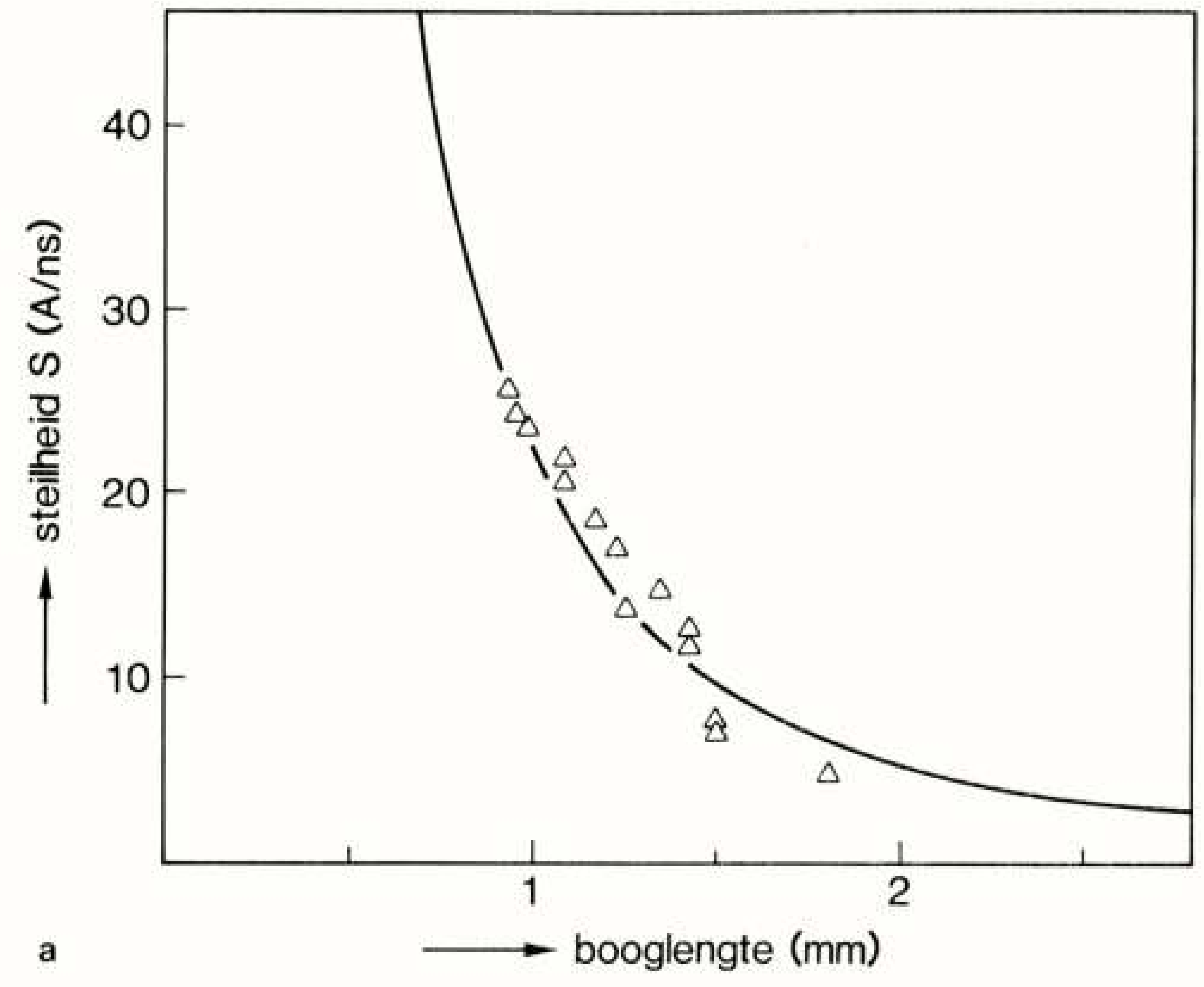


Fig. 9. Steilheid van de ESD-stroompuls als functie van de lengte van de vonk volgens [20].

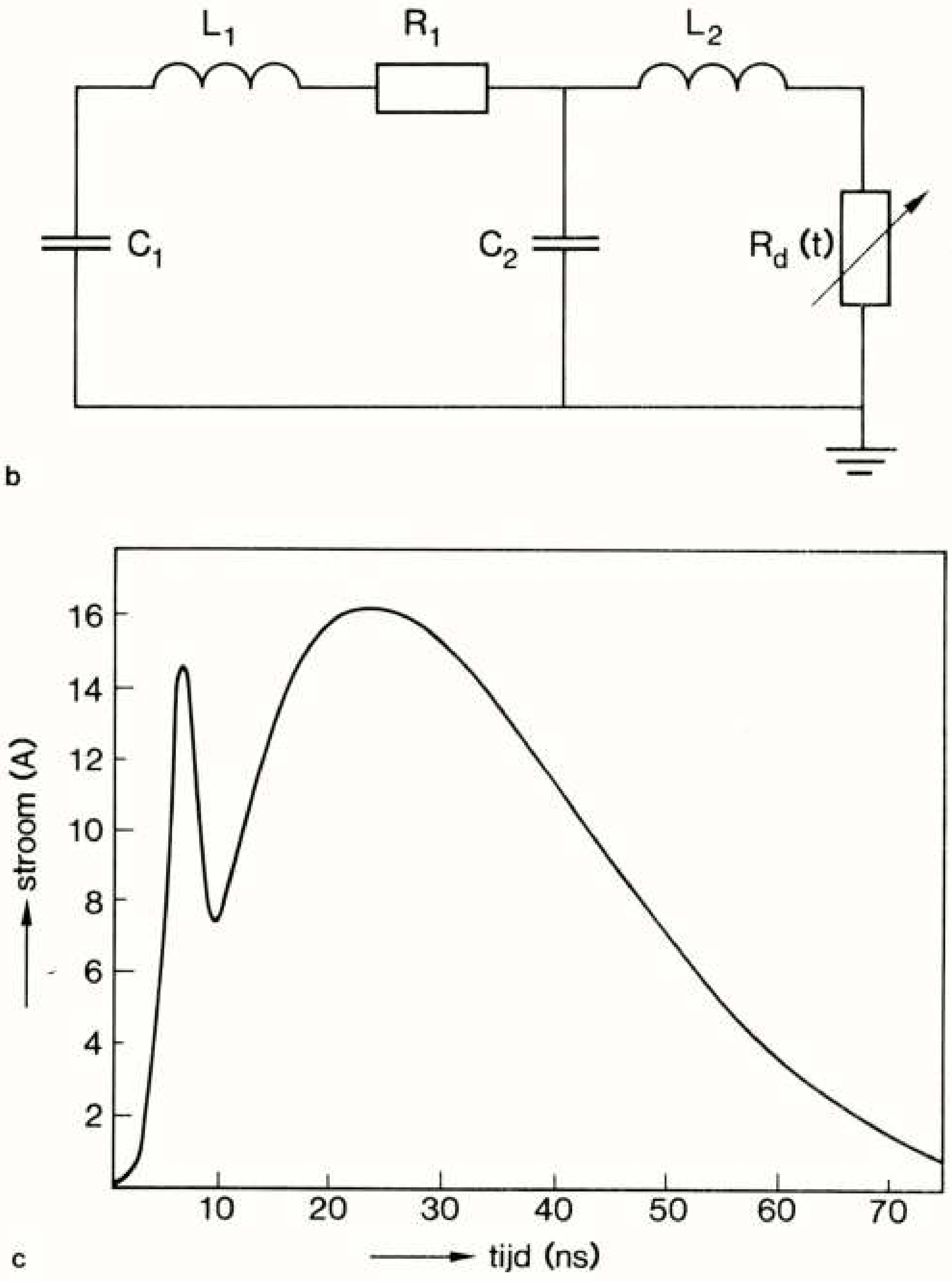


Fig. 10. Vervangingsschema (a) van het ontladingscircuit volgens Daout en Ryser [20], gebruik makend van de theorie van Toepler [21] en (b) de resulterende ontlaadstroom i_d.

stroom in eerste benadering door die lengte wordt bepaald en niet door de ontlaadspanning. Fig. 9 geeft een voorbeeld van de gemeten steilheid, de driehoekjes, als functie van de booglengte. De getrokken lijn is berekend uit het schema van Fig. 10a, dat stroompulsen oplevert zoals in Fig. 10b, als de theorie van M. Toepler [21] uit 1924 (!) wordt gebruikt. In het schema vertegenwoordigen C_1 en R_1 en opgeladen

(mens-) capaciteit en ontlaadweerstand, L_1 vertegenwoordigt de inductiviteit in de "lange" sluitweg, C_1 de parasitaire capaciteit van de ontlaadvinger (en eventueel daarmee verbonden metalen delen) naar de metalen delen van (en rondom) het ontlaadpunt. Tenslotte vertegenwoordigen L_2 en $R_d(t)$ de impedantie van de "korte" sluitweg, de vonkboog. De weerstand R_d is tijdsafhankelijk en kan met Toepler's theorie worden geschreven als

$$R_d(t) = \frac{K_T \cdot d}{\int_0^t i(\tau)d\tau}, \qquad (1)$$

waarbij K_T een numerieke constante is, die tegenwoordig de Toeplerconstante wordt genoemd, d de booglengte en i de stroom in de vonkboog. De overeenkomst tussen theorie en experiment in Fig. 9 is goed, waarbij moet worden aangetekend dat theorie en experiment op één punt kloppend werden gemaakt om de waarde van K_T te weten te komen.

In Fig. 10b is te zien dat het model de snelle voorpuls oplevert, afkomstig van het circuit $\{C_2,L_2,R_d\}$, gevolgd door de "langzame" puls afkomstig van het circuit $\{C_1,L_1,R_1\}$ in Fig. 10a. Deze laatste figuur toont tevens een bruikbaar simulatie-netwerk, waarover meer in de volgende paragraaf.

4. ESD-SIMULATIE

Wil men een juist ontworpen of reeds bestaand apparaat testen op immuniteit voor ESD dan is het zeer mensvriendelijk wanneer dit testen met een hulpapparaat kan gebeuren en de mens zodoende wat "schokkende ervaringen" bespaard kunnen blijven. Het hulpapparaat moet dan met voldoende nauwkeurigheid een mens- of ding-ontlading nabootsen. Op zich betekent dit dat het hulpapparaat een reeks van mogelijkheden moet hebben, als men onderscheid wil maken tussen een ontlading via een menselijke vinger, via een door de mens vastgehouden metalen object, zoals een schroevendraaier, via een instrumentenwagentje dat tegen het apparaat botst, via een stoel op rolletjes, etc. In het schema van Fig. 10a betekent dit dat, voor gedetailleerd onderzoek, het hulpapparaat instelbare waarden voor C_1, C_2, L_1 en R_1 moet hebben. Bij het ESD immuniteitstesten, § 6, kiest men in het algemeen één set waarden en, samen met de gekozen oplaadspanningen, moet dan de waarschijnlijkheid hoog zijn dat in de praktijk geen ESD-stoorprobleem ontstaat, als het apparaat aan de test voldoet.

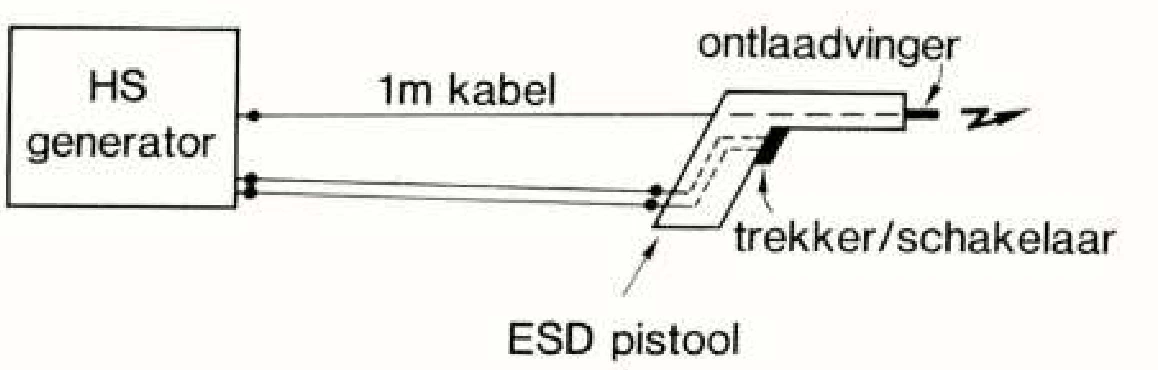


Fig. 11. Veel gebruikte ESD-simulatie tot ca. 1980.

Tot een jaar of tien geleden werd de simulatie meestal uitgevoerd als aangegeven in Fig. 11. Een condensator, in de kast van een hoogspanningsgenerator, werd opgeladen en via een kabel van ca. 1 m verbonden met het zogenaamde ESD-pistool. Dit pistool heeft een

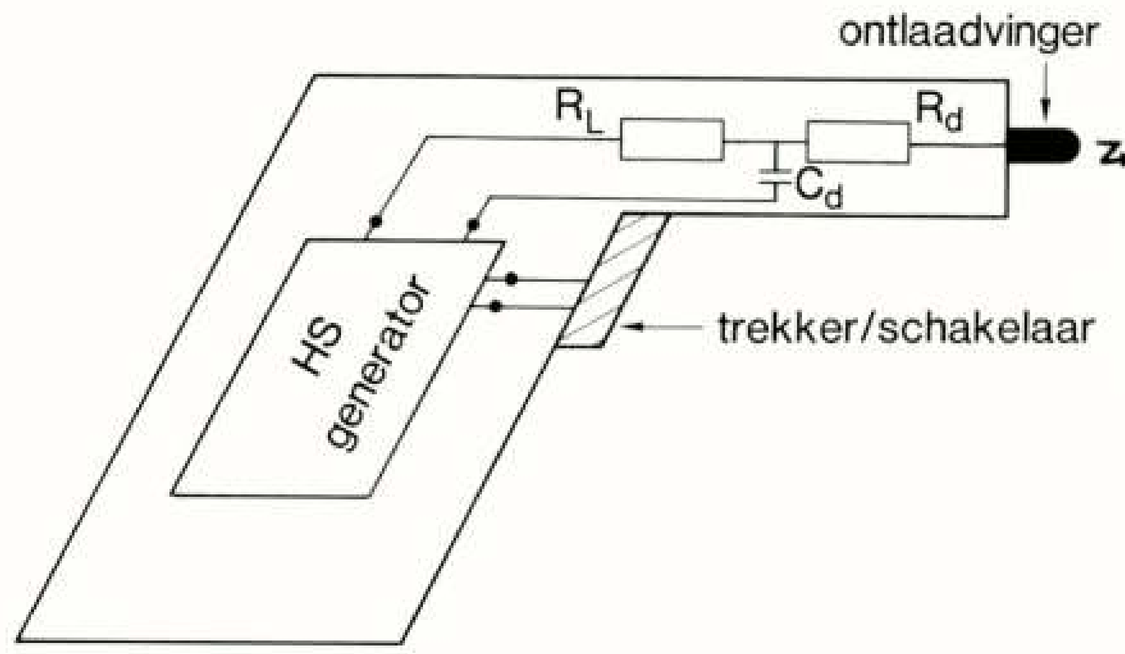


Fig. 12. Verbeterde simulatie-pistool volgens Probst (1979), [22].

"trekker" die een schakelaar bedient, zodat de hoogspanning op de ontlaadvinger komt waarna de ontlading plaats kan vinden. Het apparaat bleek de praktijksituatie maar matig te dekken. Onderzoek van Probst [22] toonde aan dat o.m. de ligging van de 1 m lange kabel bepalend was voorhet bereikte resultaat en dat de frequentie-inhoud van de puls niet voldoende was (hoge zelfinductie van de lange kabel). Hij ontwierp een nieuwe simulator, Fig. 12, waarbij hij er voor zorgde dat de opgeladen condensator, C_d, nu zeer dicht bij de ontlaadvinger was geplaatst. De condensator werd via R_L (hoogohmig) opgeladen door middel van een hoogspanningsgenerator, die in het pistool was ondergebracht. In Fig. 12 is R_d weer de ontlaadweerstand. Het verbeterde model werd aan de firma Schaffner verkocht, die het met succes op de markt bracht. Zoveel succes, dat in wezen de eerste IEC-standaard 801/2 [6], een beschrijving is van dit pistool, waarvan het simulatienetwerk is gegeven in Fig. 13a en de bijbehorende ontlaadpuls in Fig. 13b.

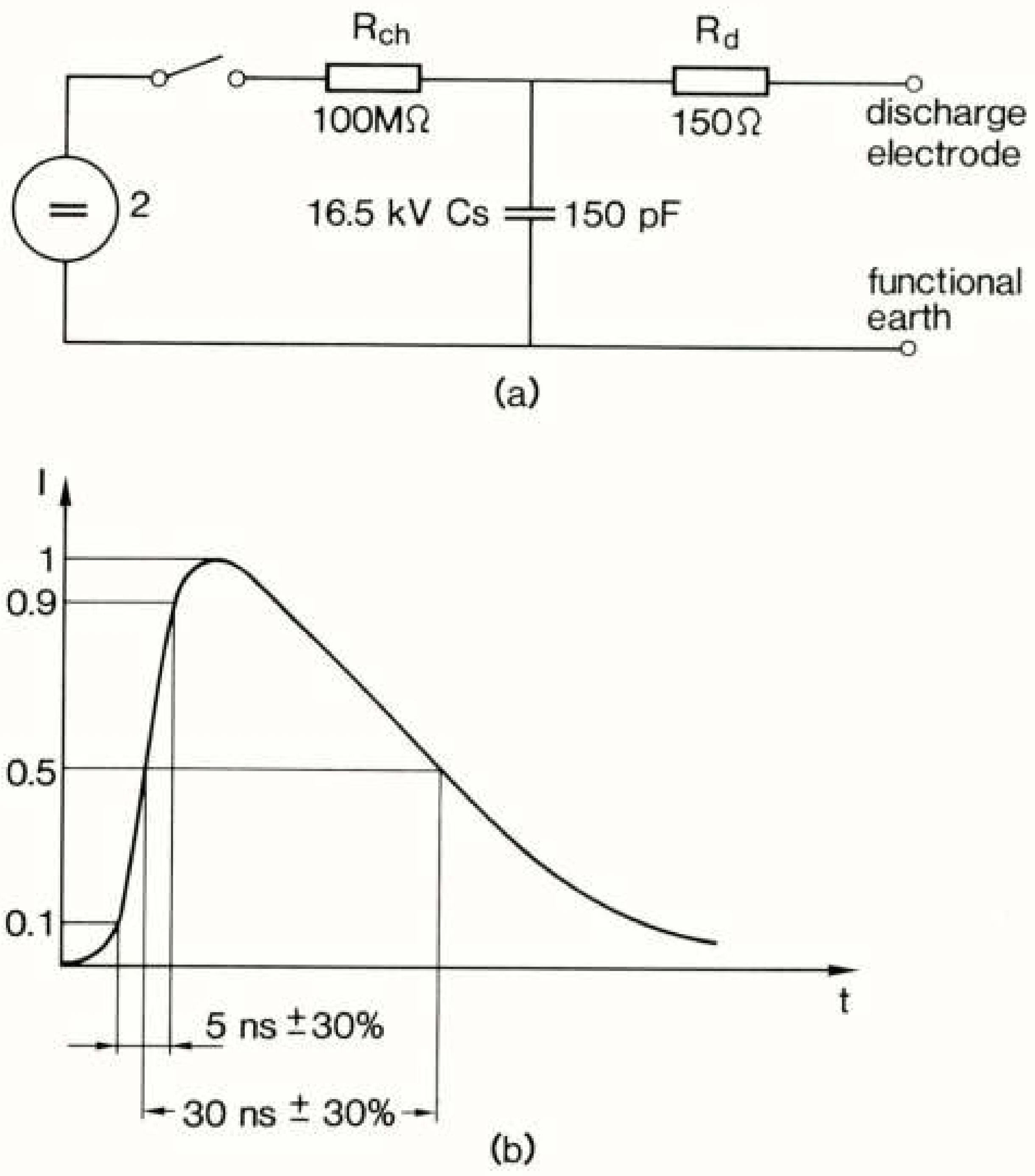


Fig. 13. Oorspronkelijke IEC 801/2 simulatienetwerk (a) met bijbehorende ontlaadpuls (b).

Dat de ontlaadpuls in Fig. 13b nogal afwijkt van die van Fig. 5b komt door het feit dat men in die tijd nog meetapparatuur gebruikte met onvoldoende bandbreedte.

De in de voorgaande paragraaf genoemde problemen: Wel voldoen aan de test en toch nog veel stoorklachten, waren dus redenen voor verder onderzoek. Naast Daout en Ryser is het dan Richman, die uitstekend onderzoek verricht [23,24,25], dat tot een verdere verbetering van het pistool leidt en zijn firma, KeyTek, grote bekendheid geeft. Richman komt tot het simulatienetwerk van Fig. 14a, terwijl Fig. 14b en c een met het netwerk berekende en een gemeten puls weergeven.

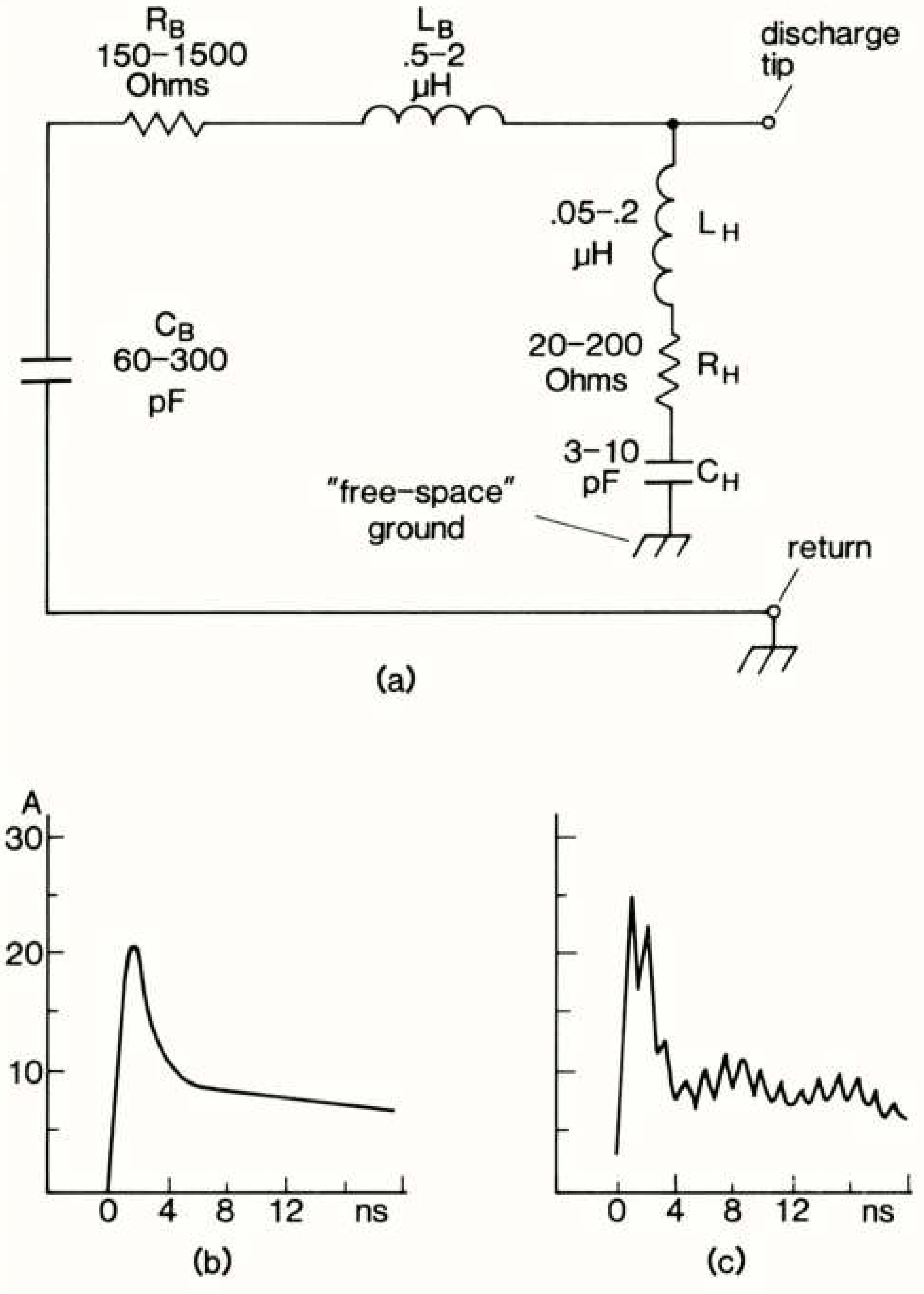


Fig. 14. (a) Simulatienetwerk volgens Richman [23], (b) een met het netwerk berekende puls en (c) de bijbehorende gemeten puls.

In het schema van Fig. 14a refereert de onderindex B naar grootheden die met het menselijk lichaam (body) te maken hebben en de index H naar grootheden die betrekking hebben op de hand. Hoewel bij Richman de theoretische onderbouw als bij Daout en Ryser ontbreekt, komt toch ook in zijn simulatienetwerk de snelle voorpuls te voorschijn (Richman was er overigens eerder met zijn simulatienetwerk dan Daout en Ryser).

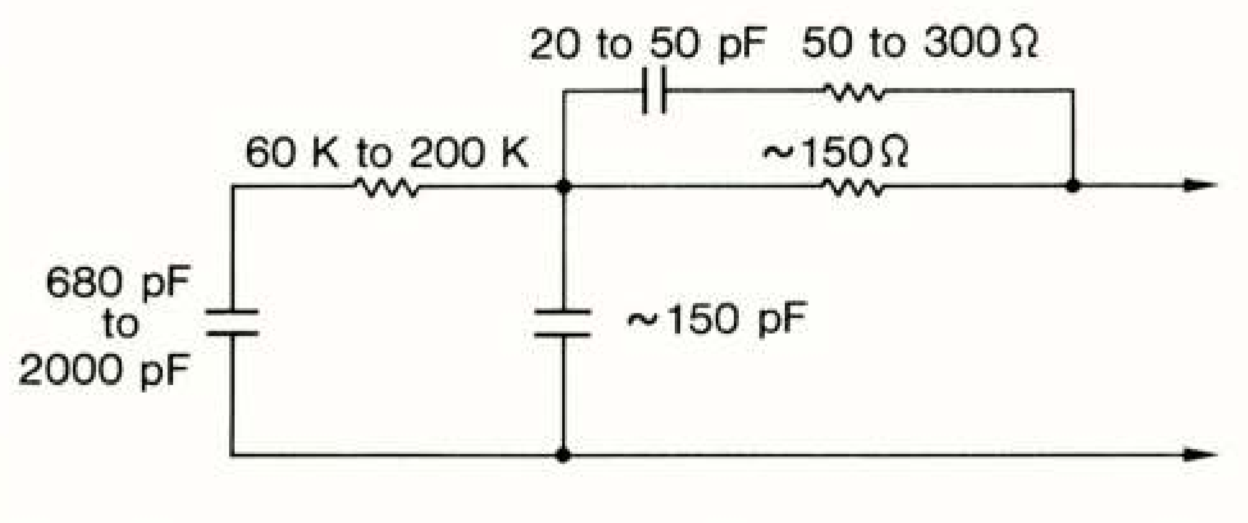


Fig. 15. Simulatienetwerk voor meervoudige ontladingen volgens Hyatt en Mellberg, [19].

In bepaalde situaties kunnen ook meervoudige ontladingen optreden. Er komt dan een reeks van pulsen, die ieder het karakter hebben van de hiervoor beschreven pulsen, terwijl de onderlinge tijdsafstand tussen de pulsen kan variëren van 10 μs tot 100 ms. Vooral Hyatt en Mellberg [19] hebben aan dit aspect aandacht besteed. Een van de (vele) mogelijke simulatienetwerken om meervoudige ontladingen op te wekken, is gegeven in Fig. 15. De "nalevering" van pulsen komt uit het linker gedeelte van de schakeling.

Het zal duidelijk zijn dat de oorspronkelijke IEC-netwerk, Fig. 13a, onvoldoende is. IEC weet dit ook en een vernieuwd netwerk is al voorgesteld [16]. Zeer waarschijnlijk wordt dan ook voorgesteld de overslag (vonkontlading) steeds te laten plaatsvinden in een soort gasontladingsbuisje, nadat de hoogspanning via een snel relais op dat buisje wordt gezet. Het buisje staat in serie met de ontlaadvinger en de ontlaadvinger wordt bij de test eerst tegen het apparaat geplaatst, alvorens de trekker van het pistool over te halen. Op deze manier ondervangt men bij het testen veel van de onzekerheden die door de corona-effecten worden veroorzaakt. Een ESD-simulator die volgens dit principe werkt is de "Minizap" van KeyTek.

5. INWERKING VAN DE ESD-PULS

Bij een kant en klaar apparaat zal het zelden voorkomen dat de ontlading plaats vindt op de aansluitpennen van een component. Heeft een ontlading op de buitenkant of op de connectoren van het apparaat toch een ongewenst gevolg, dan moet de koppelweg worden bestudeerd tussen het punt van inslag en de component die tegen de ESD-puls protesteert. Een studie van de koppelweg valt buiten het kader van deze verhandeling, vandaar dat we zullen volstaan met het vermelden van een paar conclusies van dergelijke studies.

De koppelweg wordt meestal eerst bestudeerd in het frequentiedomein, bij lage signaalniveaus. Een aanvullende studie in het tijddomein, om na te gaan of niet-lineariteiten een belangrijke invloed hebben, kan soms noodzakelijk zijn. De studie in het frequentiedomein heeft vrijwel steeds tot gevolg dat de conclusie is: "De koppelweg gedraagt zich als een hoogdoorlaat-filter". Deze conclusie komt niet onverwacht, omdat de koppeling meestal een combinatie is van

a. koppeling via een gemeenschappelijke impendatie,
b. capacitieve koppeling en
c. inductieve koppeling.

Van koppeling via een gemeenschappelijke impedantie wordt gesproken wanneer de kring, waarin de ontlaadstroom loopt, en de kring, waarin de protesterende component zich bevindt, een stuk geleider gemeenschappelijk hebben. Zo'n gemeenschappelijke geleider kan bijvoorbeeld een voedingsspoor of een referentiespoor op een printplaat zijn. Gezien het brede frequentiespectrum van de ESD-puls is de Ohmse weerstand van de gemeenschappelijke geleider niet meer interessant. Het is de zelfinductie L (vuistregel 1 nH/mm) die de bepalende grootheid is. De beide kringen hebben dan een gemeenschappelijke impedantie ωL. Daarom zal bij een gegeven stroomsterkte het ongewenste signaal bij de component toenemen met de frequentie. Eenzelfde toename met de frequentie geldt bij de capacitieve koppeling, die de koppeling via de elektrische component van het veld representeert, omdat de ongewenste stroom naar de component door ωC wordt be-

paald. Tenslotte de inductieve koppeling, die de koppeling via magnetische veldcomponent representeert, waarbij de spanning, die in de gestoorde kring wordt geïnduceerd, eveneens met ω toeneemt.

Het feit dat de koppeling vrijwel steeds het karakter heeft van een hoogdoorlaat-filter houdt in dat er meer ongewenst signaal bij de protesterende component komt naarmate de ESD-puls een breder frequentiespectrum heeft. Juist hierdoor kan de snelle voorpuls zo bepalend zijn voor het wel of niet foutfunctioneren van een apparaat.

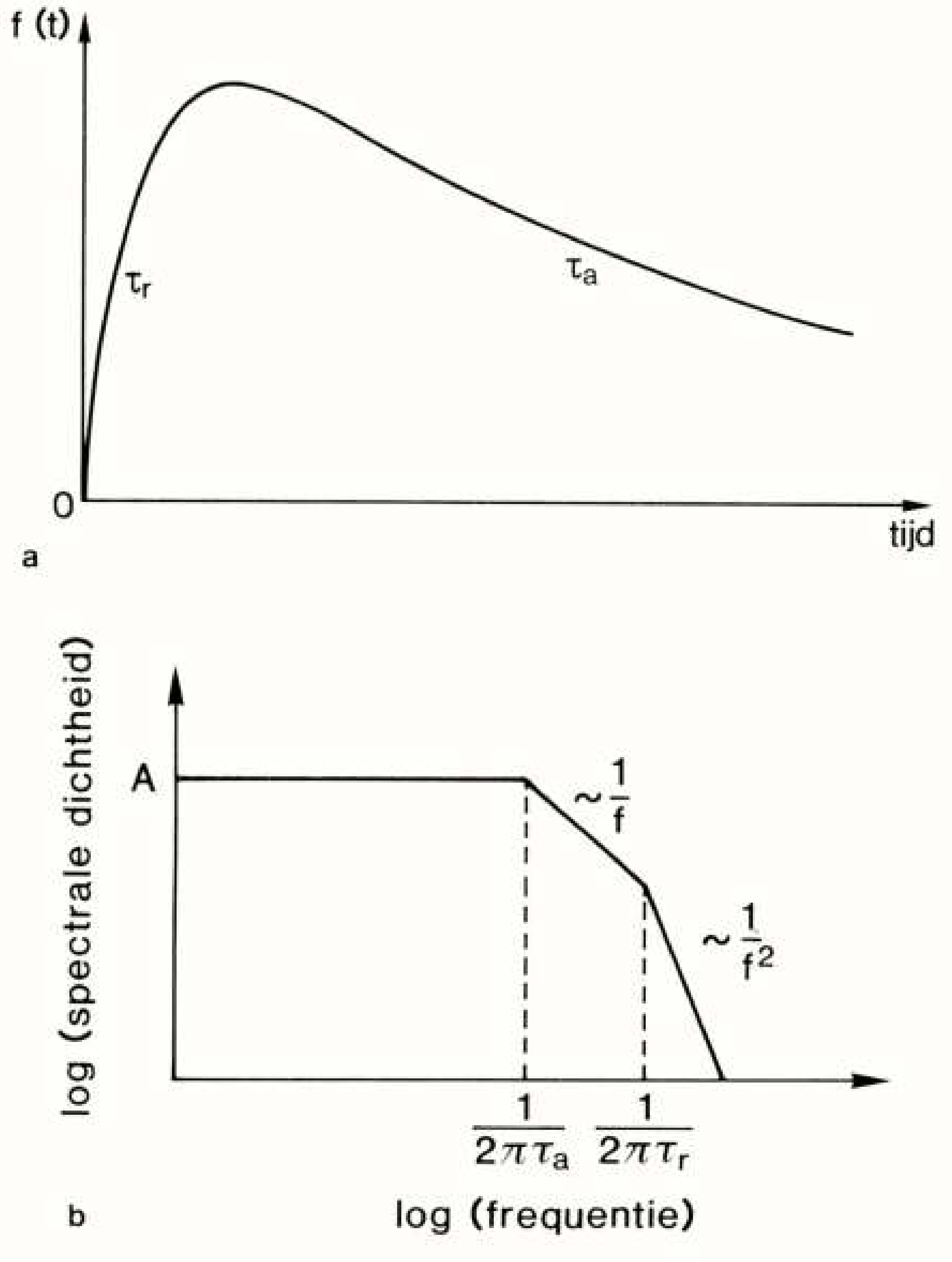


Fig. 16. Dubbel-e-macht puls (a) en bijbehorende benadering van de spectrale dichtheid van deze puls door middel van 3 rechte lijnen in een log-log-grafiek (b).

Een schatting van het frequentiespectrum van een ESD-puls is via de zogenaamde "drie-rechte-lijnen" methode snel te maken. In Fig. 16a is een zogenaamde dubbel-e-macht puls gegeven:

$$f(t) = A\{e^{-t/\tau_a} - e^{-t/\tau_r}\}, \tag{2}$$

waarbij de tijdconstanten τ_r en τ_a respectievelijk het stijgende en dalende deel der puls karakteriseren en A een constante is. De absolute waarde van de spectrale dichtheid $F(\omega)$ van deze puls wordt gegeven door

$$|F(\omega)| = A|\tau_a - \tau_r| \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2\tau_a^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2\tau_r^2}}, \tag{3}$$

terwijl in Fig. 16b de gebruikelijke benadering met 3 rechte lijnen van $|F(\omega)|$ is gegeven.

De ESD-puls met snelle voorpuls kan nu geschreven worden als de som van 2 pulsen volgens vgl. (2). In de log-log grafiek, Fig. 17, levert dit 2 bijbehorende benaderingen op: één met een hoge waarde van $A|\tau_a - \tau_r|$, die reeds bij relatief lage frequenties begint af te vallen en één met een lage waarde van $A|\tau_a - \tau_r|$ die pas bij hoge frequenties begint af te vallen. De eerstgenoemde puls is afkomstig van het "langzame" deel van de ESD-puls, de tweede is afkomstig van de snelle voorpuls. Veronderstel nu dat de koppelweg het hoogdoorlaatkarakter heeft als gegeven door de gestreepte curve in Fig. 17, dan volgt uit de samenstelling van deze curve en die van de spectrale dichtheden, de streep-punt curve in Fig. 17, die het ongewenste signaal bij de component weergeeft. Het oppervlak onder de streeppunt curve is een goede maat voor de amplitude van de stoorpuls die bij de component komt en we zien dat de snelle voorpuls duidelijk tot die amplitude bijdraagt.

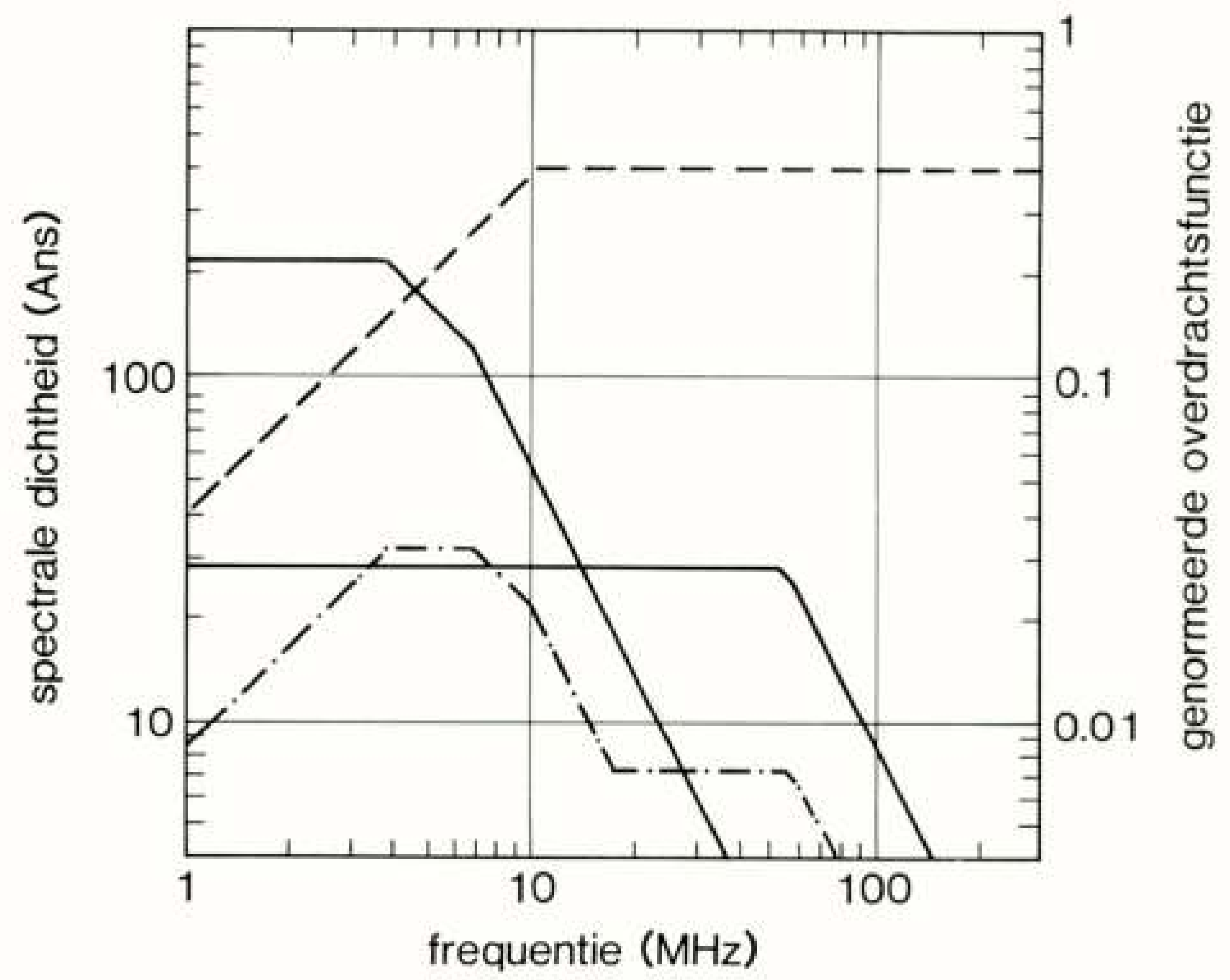


Fig. 17. Schatting van de amplitude van de stoorpuls bij een mogelijk te storen component; _ spectrale dichtheid van de ESD-puls, --- overdrachtsfunctie koppelweg, -.- spectrale dichtheid stoorpuls.

Tot slot van deze paragraaf nog kort aandacht voor de toegestane amplitude van de ongewenste puls bij de component. Een eerste amplitudegrens wordt gegeven door de amplitude van de puls die de component net niet beschadigt. Vooral de halfgeleiderdevices hadden vroeger vaak lage maximale waarden, zeg 100 V (al doet natuurlijk de hele pulsvorm mee, omdat hier vooral de energie van de puls belangrijk is). De tegenwoordige halfgeleiderdevices hebben in toenemende mate een protectievoorziening aan de rand van de chip, waardoor het beschadigingsprobleem beduidend minder is geworden. Men moet er echter aan denken dat, met de verdergaande miniaturisatie van weerstanden en condensatoren, de kans toeneemt dat ook deze componenten door ESD worden beschadigd.

Is de amplitude van de ongewenste puls zo laag dat niets meer wordt beschadigd, dan is het nog steeds mogelijk dat die puls een ongewenste invloed heeft op de werking van het apparaat. Die invloed is het meest dramatisch merkbaar bij digitale apparatuur, omdat zo'n puls zelden het minst-significante bit beïnvloedt. Het digitale apparaat gaat daardoor simpelweg wat anders doen. Dat anders kan zeer ongewenst zijn en duurt meestal tot wordt ingegrepen. Soms is het, via de software, mogelijk te voorkomen dat moet worden ingegrepen. Bijvoorbeeld: de microprocessor in een wasmachine kan herhaald vragen: "Moet de kraan open?" en de kraan pas openzetten als drie opeenvolgende keren met "ja" is geantwoord. De kans op nare overstromingen,

als gevolg van ESD of stoorpulsen op het net, is zodoende duidelijk verminderd. Andere technieken zijn mogelijk, waarbij ook de hardware is betrokken.

In veel gevallen kan dus, door een goed ontwerp, een door ESD veroorzaakte "enkele-fout" worden opgevangen. Wanneer een enkele ESD-puls echter een veelheid van fouten veroorzaakt, is er meestal nog maar één ingrijpen mogelijk: apparaat uitzetten, uithuilen en opnieuw beginnen. Een veelheid van fouten kan, bijvoorbeeld, ontstaan wanneer een ESD-puls een beschermingscircuit van een digitaal IC aanspreekt. De stroom, die dan door de chip gaat lopen, kan via de gemeenschappelijke impedantie een veelheid van chipelementen rondom het beschermingscircuit in hun werking verstoren. Het is dus zaak de amplitude van de ongewenste puls steeds zo laag te houden dat een protectievoorziening niet aanspreekt, zeg < 15 à 25 volt.

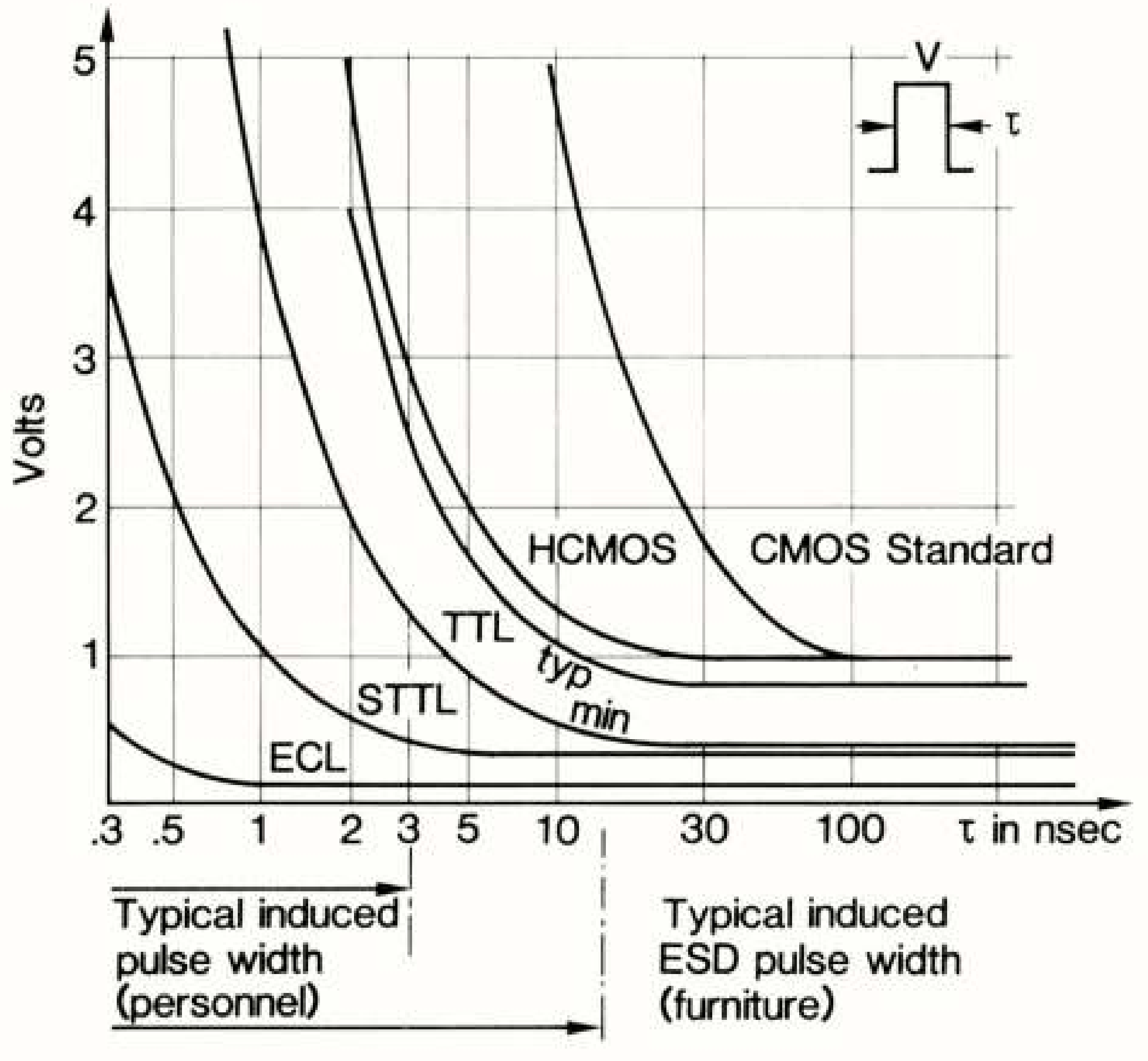


Fig. 18. Dynamische stoormarge van verschillende families digitale bouwstenen als functie van de breedte τ (in ns) van de puls op de ingang van de bouwsteen, overgenomen uit [27].

Willen we van ESD-pulsen helemaal geen last hebben dan moet de amplitude van die pulsen zo klein zijn dat de digitale bouwstenen niet meer reageren. Om iets over die amplitudes te kunnen zeggen, moet gekeken worden naar de dynamische stoormarge van die bouwstenen. Door fabrikanten van digitale bouwstenen wordt altijd een zeker spanningsgebied gegeven, waarbinnen de bouwsteen een spanning "ziet" als een logische "0" of als een logische "1". Zo kan men een stoormarge aangeven, dat wil zeggen een spanningsbereik van een puls aan de ingang van een bouwsteen, zodat nog net geen (blijvende) statusverandering volgt [26]. In Fig. 18 is te zien dat voor grote breedtes van de puls de stoormarge constant is. Dit noemt men meestal de statische stoormarge en het is meestal deze marge die door de fabrikant wordt opgegeven. Gaan we in Fig. 18 van rechts naar links, dan passeren we een pulsbreedte, ongeveer overeenkomend met de schakeltijd van de betreffende logica-familie, waaronder het nog steeds mogelijk is de bouwsteen te laten schakelen; we hebben dan alleen iets meer spanning nodig. Het worden echter geen hoge spanningen! In Fig. 18, overgenomen uit [27], is te zien dat elk pulsje van 5 volt in staat is elke bouwsteen om te zetten. Willen we geen ongewenst ESD-effect dan moeten we streven naar maximale amplitudes < 0.5 volt. Zie verder ook § 6 over immuniteitstesten.

6. IMMUNITEITSTESTEN

In deze laatste paragraaf nog een paar opmerkingen die betrekking hebben op het testen van apparatuur op immuniteit voor ESD-pulsen. Het testen van de immuniteit hangt altijd samen met het (vooraf) stellen van eisen. De fabrikant of de klant vindt dat een apparaat tegen 'dit of dat' moet kunnen. Om dan alleen maar te stellen: "het apparaat moet tegen ESD-pulsen van (bijvoorbeeld) 10 kV kunnen", is absoluut onvoldoende. We hebben immers in § 3 gezien dat bij een dergelijke spanning een veelheid van ESD-pulsen mogelijk is, in het bijzonder door de corona-effecten. Verder werd in § 4 besproken dat de resulterende ESD bovendien van het simulatie-netwerk afhangt. Conclusie:

Bij het stellen van eisen behoort een uitgebreide omschrijving van de wijze waarop de test wordt uitgevoerd.

Een eerste grootheid die gekozen moet worden is het simulatienetwerk, zeg maar de keuze van het pistool. Dan moet worden afgesproken of alleen met de (als voorbeeld) gekozen 10 kV wordt getest of ook nog met andere spanningswaarden. Gezien het koppelmechanisme, zie § 5, is het in het algemeen zeer onverstandig om alleen met deze relatief hoge oplaadspanning te testen, omdat in het algemeen de spectrumbreedte geringer is dan bij pulsen afkomstig van een lagere oplaadspanning. Deze laatste pulsen hebben meestal een veel hogere stoorpotentie. Dus: kies een reeks van testspanningen tot 10 kV. Vervolgens komt de vraag: werken we met een vaste of een variabele booglengte als de oplaadspanning wordt gevarieerd. Indien het antwoord is: een variabele booglengte, dan zal iets over de naderingssnelheid moeten worden afgesproken.

De opmerking kan worden gemaakt: is 10 kV wel een goede keuze, is het niet voldoende om tot 6 à 8 kV te testen omdat die pulsen meestal gemener zijn? Als het alleen om foutfunctioneren gaat, is 6 kV waarschijnlijk genoeg. Hoewel, wanneer het apparaat voorzien is van een gelakte metalen behuizing, dan kan het zijn dat op een gegeven moment de lak er wat afslijt. Vindt vervolgens op een dergelijk plaats een ontlading plaats dan kan het apparaat alsnog de fout ingaan omdat deze stoorweg bij het nieuwe apparaat niet mogelijk was. Door het nieuwe apparaat ook te testen met spanningswaarden van 8 à 10 kV, wordt meestal door de laklaag geschoten en krijgt men toch wat informatie over een koppelweg die mogelijk pas over een paar jaar belangrijk wordt. Tenslotte, is men geïnteresseerd in het al dan niet beschadigen van een apparaat door ESD, waarbij het eventueel is toegestaan dat het apparaat wel fout functioneert, dan komen hogere waarden dan 10 kV aan de orde omdat het er dan om gaat in zeer korte tijd veel energie in het apparaat te pompen.

Een voorbeeld, afkomstig uit [28], dat illustreert dat bovengenoemde afspraken moeten worden gemaakt, is gegeven in Fig. 19. Twee verschillende apparaten (linker en rechter kolom in Fig. 19) werden eerst getest door een proefpersoon op te laden, die zich daarna via een in de hand gehouden metalen voorwerp op deze apparaten ontlaadde. Per gekozen oplaadspanning werd het experiment 10 keer herhaald. Het percentage van het aantal keren dat een apparaat als gevolg van de ESD-puls fout functioneerde is in de a-figuren uitgezet tegen de oplaadspanning. Het "linker" apparaat vertoont vanaf 2 kV een duide-

lijk vatbaarheid, die onafhankelijk is van de oplaadspanning. Bij het "rechter" apparaat neemt de kans op foutfunctioneren toe met de spanning. Vervolgens laten de b-figuren het resultaat zien afkomstig van het testen met het oude IEC-pistool. Het linker apparaat zou volledig zijn goedgekeurd, bij het rechter apparaat zien we een behoorlijke overeenstemming met de a-figuur. Tenslotte geven de c-figuren de resultaten van testen met de "relais-methode" (zie aan het eind van § 4). Nu is er voor het linker apparaat een goede overeenstemming met de a-figuur en blijkt het rechter apparaat vatbaarder dan in de a-figuur.

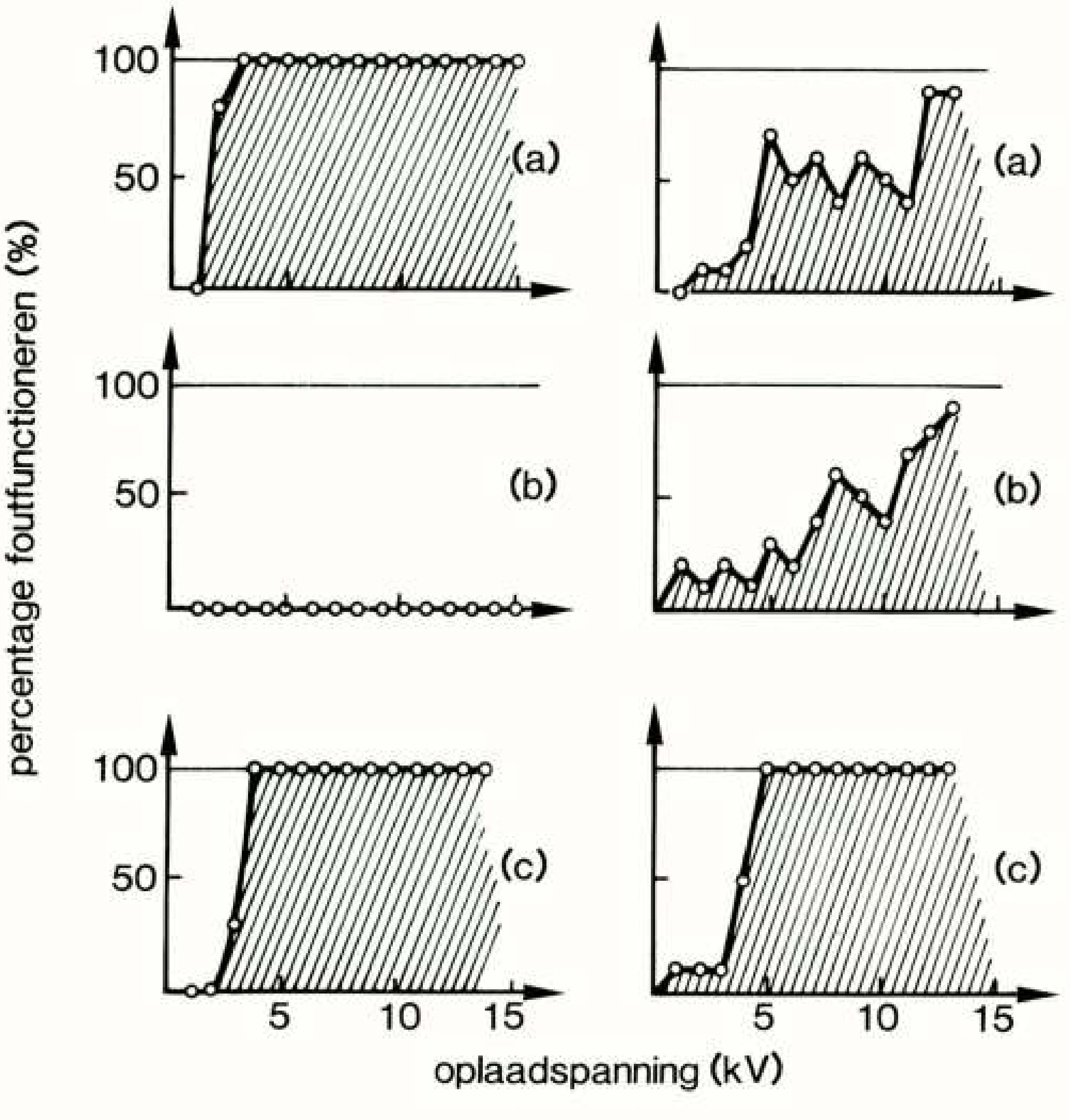


Fig. 19. Vatbaarheid voor ESD van twee verschillende type apparaten (linker en rechter kolom); (a) ontlading door mens met metalen voorwerp in de hand, (b) ontlading door (oude) IEC-pistool en (c) ontlading via relais-methode.

Een veel gehoorde vraag is: "op welke plaatsen van het apparaat moet ik een ESD uitvoeren?" Het antwoord zal vaak zijn: "Alle plaatsen die in de praktijk aangeraakt kunnen worden". Dat kunnen in de praktijk veel plaatsen zijn, zoveel zelfs dat men zijn leven lang kan blijven testen. Er zal dus een keuze moeten worden gemaakt. Allereerst worden die plaatsen gekozen die bij normaal gebruik van het apparaat worden aangeraakt. Bij kunststof behuizingen is het dan aan te bevelen te ontladen op metalen delen, die naar buiten steken (connectoren), of op metalen boutjes. Wat het apparaat betreft, hebben we dan al veel belangrijke punten gehad, al heeft eens iemand geadviseerd na te gaan hoe de "directe chef" tijdens een bezoek op een apparaat gaat hangen en ook die gewoonte in een ESD-test af te dekken. Belangrijk is ook (of juist) dat het apparaat tegen ESD-pulsen moet kunnen, die in de omgeving van het apparaat worden opgewekt terwijl het apparaat in de bedrijfssituatie is. Dit laatste betekent dat alle kabels (netkabel, flatcables, coaxiale kabels, etc.) zijn aangesloten. Men initieert dan ontladingen op de metalen tafel waar het apparaat op kan staan, of op het 19-inch-rek waar het apparaat in is gemonteerd, en men initieert ontladingen bij alle (!) kabels, want kabels zijn nu eenmaal prachtige antennes die een stoorsignaal in het apparaat kunnen brengen. Men bedenke, als voorbeeld, dat een coaxiale kabel geen afgeschermde kabel is. Induceert de ESD-puls een stroom op de mantel van die kabel dan ontstaat, via de zogenaamde transferimpedantie, een ongewenst signaal in onze schakeling [29]. Moet men een praktisch ESD-probleem oplossen, dan begint men meestal in de buurt van het protesterende apparaat in de lucht te schieten. Wanneer het apparaat daarop fout functioneert worden eerste alle (!) koppelwegen via kabels geblokkeerd alvorens het probleem verder te gaan ontrafelen.

Tenslotte de vraag: "Hoe vaak moet ik op een gekozen plaats schieten?". Betreft het digitale apparatuur, dan moet het antwoord luiden: "Tot je er voldoende zeker van bent dat het schieten op die plaats geen ongewenst effect oplevert." Dit is natuurlijk een zeer onbevredigend antwoord. Het probleem is echter dat we te maken hebben met de in § 5 besproken stoormarges van de digitale bouwstenen. Deze stoormarges gelden op het moment dat de digitale klok de bouwsteen activeert. Is de bouwsteen niet geactiveerd dan heeft een ESD-puls vaak veel minder succes. We moeten dus zo lang testen dat de kans voldoende groot is dat een ESD-puls heeft kunnen samenvallen met de geactiveerde momenten van alle bouwstenen in het apparaat. In [30] is aan dit probleem aandacht geschonken. In [30] kan men lezen dat, om met een betrouwbaarheidsfactor van 99% te weten dat de maximale kans op een ESD-fout 10^{-3} is, bijna 5000 ontladingen per testplaats moeten worden geïnitieerd. Voor dit soort testen is dus een "repeteerpistool" geen overbodige luxe. Veel pistolen kunnen dit wel, al moet men oppassen met beïnvloeding van de pulsvorm door rest-ionisatie en het probleem van een te hoge dissipatie in de (geïntegreerde) schakelingen. Het kan zinvol zijn een krachtige luchtstroom langs het ontlaadpunt te laten lopen om effecten van rest-ionisatie tegen te gaan. Een voorbeeld van een repeteerpistool wat tevens veel aandacht besteedt aan de capaciteit tussen het menselijk lichaam en het te testen apparaat is gegeven in [31]. Ziet men af van dit statistisch verantwoord testen dan zijn toch wel zo'n 10 ontladingen per testpunt wenselijk, gezien de matige reproduceerbaarheid van de ESD wanneer geen gebruik wordt gemaakt van de relaismethode.

Te allen tijde zal een goedkeur/afkeur-criterium moeten worden vastgesteld. Bijvoorbeeld: het maakt nogal verschil of geëist wordt: "storing niet waarneembaar" of "storing mag de werking niet blijvend beïnvloeden". Het even springen van het beeld op een computerbeeldscherm als gevolg van ESD is minder erg dan het nemen van een foute beslissing door het programma van die computer.

NAWOORD

De auteur dankt Ir. A.G. van Nie en de heer E.J. Schwan voor waardevolle discussies.

REFERENTIES

1. "Aspecten van ontlading van statische electriciteit", J.J. Goedbloed, Philips Technisch Tijdschrift, verschijnt binnenkort.
2. Diverse artikelen in: Proceedings 6th Symposium on Electromagnetic Compatiblity, Zürich, March 1985, pp 25-45.
3. Diverse artikelen in: Proceedings IEEE Intern. Symposium on Electromagnetic Compatibility, San Diego, Sept. 1986, pp 451-481.

4. Diverse artikelen in: Proceedings 7th Symposium on Electromagnetic Compatibility, Zürich, March 1987, pp 461-486.
5. Proceedings Electrical Overstress/Electrostatic Discharge Symposium (EOS), USA, jaarlijks.
6. "Electromagnetic Compatibility for industrial-process measurement and control equipment, Part 2: Electrostatic Discharge requirements", IEC Publication 801/2, IEC, Geneva. (In Nederland verkrijgbaar via het NNI in Delft).
7. "Human ESD; the phenomena, their reproduction and some associated problems", M. Lutz, O. Frey and W. Taylor, Proc. IEEE Intern. Symp. on EMC, San Diego, Sept. 1986, pp 461-466.
8. "Electrostatic voltages on a charged human body", Report No. STL 1267, June 1977, Standard Telecomm. Labs. Ltd., Harlow, England.
9. "Elektrostatische ontladingen: een storend fenomeen", O.C. Kain en P.P.M. Vercauteren, I^2 Elektrotechniek/Elektronica, 1985, no. 2, pp 11-15 (deel 1) en no. 3, pp 21-25 (deel 2).
10. "Electrostatic charging and simulation of the discharge process", H.A. Kunz, EMC-Technology, vol. 1, no. 2, 1982, pp 30-36.
11. "Personel electrostatic discharge: Impulse wave forms resulting from ESD of humans directly and through small hand-held metallic objects intervening the discharge path", W.M. King and D. Reynolds, Proc. IEEE Symposium on EMC, Aug. 1981, pp 557-590.
12. "Electrostatic Discharge (ESD) Protection Test Handbook", Key-Tek Instrument Corp., Burlington, Mass. USA.
13. "Hoofdzaken der Natuurkunde", Dr. A.M.P. Rocholl, deel III-B, p 178, W.J. Thieme, Zutphen, 1952.
14. G. Pellengrini, ENEL, Milano, persoonlijke mededeling.
15. "Recent developments in the understanding of coupling paths of ESD through a metallic cabinet", M. Mardiguian and D.R.J. White, Proc. Symp. on EMC, Zürich, March 1985, pp 31-34.
16. "Draft Amendment IEC Publication 801/2", TC65/WG4 (Paris, Jones) 3, 1987, IEC, Geneva.
17. "Grounding Philosophy", P.C.T. van der Laan, M.A. van Houten and A.P.J. van Deursen, Proc. Symp. on EMC, Zürich, March 1987, pp 567-572.
18. "Fast discharge mode in ESD-testing", B. Daout and H. Ryser, Proc. Symp. on EMC, Zürich, March 1985, pp 41-46.
19. "Bringing ESD testing into the 20th century", H. Hyatt and H. Mellberg, Proc. IEEE Symp. on EMC, Santa Clara, Sept. 1982.
20. "The correlation of rising slope and speed of approach in ESD tests", B. Daout, H. Ryser, A. Germond and P. Zweiacker, Proc. Symp. on EMC, Zürich, March 1987, pp 461-466.
21. "Stossspannung, Überschlag und Durchsschlag bei Isolatoren", M. Toepler, Elektrotechnische Zeitschrift, 45. Jahrgang, Heft 40, Oktober 1924.
22. "Simulation elektrostatischer Entladungen", W. Probst, Elektrotechnische Zeitschrift, Bd. 100, Heft 10, 1979, pp 494-497.
23. "ESD testing : the interface between simulator and equipment under test", Proc. Symp. on EMC, Zürich, March 1985, pp 25-30.
24. "Classification of ESD hand/metal current waves versus approach speed, voltage, electrode geometry and humidity", P. Richman, Proc. IEEE Intern. Symp. on EMC, San Diego, Sept. 1986, pp 451-460.
25. "The effects of hand-associated metal object geometry and hand-to-object coupling impedance on ESD current waves", Proc. Symp. on EMC, Zürich, March 1987, pp 467-472.
26. Diverse databoeken van digitale bouwstenen en, bij voorbeeld, "Designers Guide High-speed CMOS", Philips, Elcoma, 1986.
27. "ESD testing, the need for dual personel and material discharge simulation", M. Mardiguian, Proc. Symp. on EMC, Zürich, March 1987, pp 473-476.
28. "The reproducibility of the rising slope in ESD testing", B. Daout and H. Ryser, Proc. IEEE Intern. Symp. on EMC, San Diego, Sept. 1986, pp 467-474.
29. "Kabelkeuze: een middel om EMC te bereiken?", M.J. Coenen, Electronica, no.6, maart 1984, pp 39-45.
30. "Statistical considerations of electrostatic discharge evaluations", D.R. Bush, Proc. Symp. on EMC, Zürich, March 1987, pp 487-490.
31. "A standard test to determine the susceptibility of a machine to electrostatic discharge", R.J. Calcavecchio, Proc. IEEE Intern. Symp. on EMC, San Diego, Sept. 1986, pp 475-482.

Voordracht gehouden tijdens de 355e werkvergadering.

LEDENMUTATIES

Voorgestelde leden

Ir. A.M.J. van Amelsfort, Harmoniepolder 62, 5235 TL 's-Hertogenbosch.

Ir. K. Fischer, Hoogstraat 39, 1381 VT Weesp.

Nieuwe leden

Ir. J.M. de Bruijn, Bommelsedijk 22, 3258 LB Den Bommel.

Ir. J. Elshout, C.M.E., Postbus 128, 5600 AC Eindhoven.

Ir. G.J.C. Verhoef, De Haar 6, 2261 XS Leidschendam.

Ing. H.J.T. van der Vleut, De Haar 44, 2261 XV Leidschendam.

Nieuwe adressen van leden

Ir. J. van Bruggen, Zevenberg 15, 5508 AH Veldhoven.

E. Hardam, Gagelstraat 81, 5616 RP Eindhoven.

Ing. L.M.C. Muijtjens, Touwslagerstraat 10, 6151 DR Munstergeleen.

Ir. H. de Vroome, Holtlant 2, 2353 GC Leiderdorp.

Overleden

J.C. Mol, Amstel 75, 1018 EK Amsterdam.

NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP

UITNODIGING voor een twee-daags specialisten seminar op **30 en 31 mei 1988** in het **Academisch Genootschap, Parklaan 93 te Eindhoven**, met thema:

Applications of Error Control Coding in Digital Communications.

Doel: Dit seminar presenteert -in een begrijpelijke taal- de verschillende foutencorrigerende methoden en hun toepassingen.

Bestemd voor: Ingenieurs en wetenschappers die te maken hebben met betrouwbaarheid van het communicatiekanaal. De cursus is ook gericht op ingenieurs die behoefte hebben aan meer inzicht in de toepassingen van "Error Control Coding" op hun vakgebied.

Cursusinhoud: maandag, 30 mei: **Fundamental concepts of coding**

Channel concept
- -Discrete memoryless channel, soft decision, hard decision
- -Performance evaluation, coding gain
- -Computational cut-off rate

Error Control Coding Techniques
- -ARQ techniques
- -Forward error correction techniques
- -ARQ/FEC hybrid techniques

Block Codes
- -Linear block codes
- -Cyclic codes
- -Error detection using CRC codes
- -BCH, Reed Solomon codes
- -Implementation of BCH and RS decoders
- -Majority logic decoding

Convolutional Codes
- -Tree, trellis state diagram
- -Viterbi decoding
- -Punctured convolutinal codes
- -Performance and implementation considerations
- -Sequential decoding of convolutional codes
- -Threshold decoding of convolutional codes

dinsdag, 31 mei: **System applications**

Coding for Spread Spectrum Systems
- -Direct sequence systems with pulse jamming
- -Frequency hopping systems with partial band and partial band multitone jamming

Coding for Mobile Radio and Rayleigh Fading Channels
- -Unequal error protection for digital speech
- -Rate compatible punctured convolutional codes
- -Hybrid ARQ for digital data

Coding for High Speed Digital Microwave Radio Links

Coding for Space Missions
- -The parent RS code of length 255 used in various NASA missions and Giotto
- -Current and future implementations
- -Adaptive error control for Ku and Ka band satellite communications
- -The (31,k) RS Code and its Applications
- -JTIDS, digital recording, advanced train control systems

Coding for HF and meteor burst communications

Coding for fiber optical communications
- -Line codes, coding gain for laser outputs

Coding and VLSI

De deelnamekosten bedragen fl. 540,— voor NERG leden, en fl. 600,— voor niet leden. In dit bedrag zijn begrepen de kosten van cursusmateriaal, 2 lunches, 1 diner, koffie/thee. De annuleringskosten bedragen na 5 mei fl. 300,—.

Aanmelding kan geschieden door inzending van de aanmeldingskaart naar het NERG, postbus 39, 2260 AA Leidschendam. De inschrijving geschiedt in volgorde van binnenkomst van deze kaart. Het aantal deelnemers bedraagt **maximaal** 20.

Het seminar wordt gegeven door **Prof. Vijay K. Bhargava** van de **Universiteit van Victoria, Canada.** De voertaal is Engels. Prof. Bhargava was adviseur van Bell Northern Research en het Communications Research Centre van het Canadese Departement van Communicatie in Quebec. Hij is co-auteur van het boek "**Digital Communications by Satellite**" en heeft een uitgebreide ervaring op het gebied van "Error-Correcting Codes, Sequence Design and Spread Spectrum Communications".

Inlichtingen
- Dr. ir. A. J. Vinck, TU Eindhoven, Tel. 040 - 473672
- Ir. P. van der Wurf, Philips International Institute, Tel. 040 - 757554

Conferentieaankondigingen

PATO postacademische cursus: Testbaar ontwerpen en testen van digitale VLSI-systemen. 24-26 mei 1988. TUT. Contactadres voor inhoud dr.ir. H Kerkhoff (053-892646), voor organisatie drs. R.de Bruin (070-644957).

PATO postacademische cursus: Ontwerpen van ruisarme elektronische schakelingen en systemen voor analoge signalen. 7 en 8 juni 1988 TUD. Contactadres voor inhoud prof.ir. L.Krul (015-785055), voor organisatie drs. R.de Bruin, (070-644957).

Eurocon '88; 8th European Conference on Electrotechnics; 13-17 juni; Stockhol, Sweden. Eurocon 88 is devoted to area communication. Contactadres: Eurocon 88; c/o Stockholm Convention Bureau; P.O.Box 6911; S-102 39 Stockholm; Sweden Tel. +46 8 230990

Integrated Services Digital Network (ISDN) in Europe, Den Haag 25-27 April 1989. Contactadres: ISDN in Europe; Ms. Marijke Newman-van Aalderen; IBM Nederland N.V.; tel. 020-5133561.

Vacuumelectronics and displays; 8-10 Mei 1989 in Garmisch-Partenkirchen; Contactadres: VDE Stresemannallee 15, D-6000 Frankfurt am Main 70.

CompEuro '89; 8-12 Mei 1989; Hamburg. VLSI and external memories; VLSI and I/O systems and devices for human interface; VLSI, sensors and controls; VLSI and computer communications; VLSI technologies and trends; second call for papers; 1 February 1989. Contactadres: Prof. W.E.Proebster, IBM Laboratory, P.O.Box 1380, D-7030 Boeblingen, Fed.Rep. of Germany. Tel.:(07031) 163929.

Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap

Inhoud

deel 53 - nr. 2 - 1988

druk: de Witte, Eindhoven.